

## **Análise Global de Tendências em Contagens de Fogos Nocturnos Ativos (1996 – 2012)**

**Diogo Miguel da Silva de Sousa Pinto**

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em  
**Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais**

Orientador: Prof. José Miguel Pereira

Co-orientador: Dr. João Silva

**Júri:**

Presidente - Doutora Maria Helena Reis de Noronha Ribeiro de Almeida, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais - Doutor José Miguel Oliveira Cardoso Pereira, Professor Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

-Doutora Ana Cristina Lopes de Sá

Lisboa, 2014

## **Agradecimentos**

Ao Professor José Miguel Cardoso Pereira, Professor Catedrático do Departamento de Recursos Naturais, Ambiente e Território (DRAT) do Instituto Superior de Agronomia, agradeço a sua disponibilidade constante e orientação científica, bem como a sugestão de ideias para elementos a incorporar no trabalho.

Ao meu co-orientador Duarte Oom, sem o qual esta tese não seria a mesma. O meu muito obrigado pelo acompanhamento constante a todos os momentos, na elaboração de cartografia essencial ao estudo bem como na orientação durante toda a parte prática da edição de dados.

Ao meu co-orientador João Silva, pela colaboração e orientação a quando da utilização do programa IDRISI SELVA para a análise de tendências.

## **Resumo**

O estudo realizado nesta dissertação teve como objectivo realizar uma análise de tendências da distribuição global de fogos de vegetação para o período entre Junho de 1996 a Março de 2012. Foi utilizado o produto World Fire Atlas (WFA) da Agência Espacial Europeia (ESA), obtido através do sensor Along Track Scanning Radiometer (ATSR) a bordo do Second European Remote Sensing Satellite (ERS-2), sob o qual se aplicou um processo de filtragem segundo Mota et al. (2006). Foi feita uma análise comparativa entre os dados iniciais e os dados válidos e verificou-se uma percentagem de falsos alarmes e de fogos que não são de vegetação de 28% para o período considerado. Os erros obtidos deveram-se essencialmente a superfícies quentes e chamas de gás, sendo a origem dos erros muito variada. Com os dados obtidos, foi levada a cabo uma análise de tendências realizando o teste de Mann-Kendall no programa IDRISI SELVA. Foi obtida a cartografia correspondente a este teste, tendo esta sido estudada de modo a identificar a presença de tendências positivas ou negativas. Após uma análise visual da cartografia, bem como dos perfis temporais de zonas específicas, foi possível concluir que não se regista nenhuma tendência significativa a nível global, tanto positiva como negativa.

**Palavras-chave:** Fogos de vegetação, ATSR, Análise de Tendências, Mann-Kendall, IDRISI

## **Resumo**

This thesis aimed to perform a trend analysis of the global distribution of vegetation fires for the period from June 1996 to March 2012. We used the product from the World Fires Atlas (WFA) from the European Space Agency (ESA), obtained with the Along Track Scanning Radiometer (ATSR) sensor onboard the Second European Remote Sensing Satellite (ERS – 2), under which a filtering process was applied, following the same method of Mota et al. (2006). We conducted a comparative analysis between the initial data and the clean data and there was a percentage of false alarms and fires that were not vegetation fires of 28%.

The errors obtained were due primarily to hot surfaces and gas flares. With the data obtained, we conducted a trend analysis by performing the Mann-Kendall test in the program IDRISI Selva. The mapping created by the test, was studied to identify the presence of positive or negative trends. After a close visual study of the mapping and after the analysis of the temporal profiles of places of interest, we concluded that there is no relevant trend present globally, both positive or negative.

**Key-words:** Vegetation Fires, ATSR, Trend Analysis, Mann-Kendall, IDRISI



## **Extended Abstract**

The study in this dissertation aims to perform a trend analysis of the global distribution of vegetation fires for the period from June 1996 to March 2012. We used the product World Fire Atlas (WFA) from the European Space Agency (ESA), obtained through the sensor Along Track Scanning Radiometer (ATSR) onboard the Second European Remote Sensing Satellite (ERS-2), onto which a filtering process was applied according to the method proposed by Mota et al. (2006). On this cleaning process, there were two main types of filtering process: through mask and through visual analysis. For the screening process using masks, the data obtained was overlaid with other maps that had outlined zones onto which, any recording where considered “non-vegetation fires”. With this method we were able to identify “non-vegetation fires” caused by gas flares and night lights. Complementary to this process, there was a further cleaning of the data, done by visually analyzing the records and trying to identify clusters of records that could be originated either from hot soil emanating heat during the night or by an active volcano. This process resulted in a percentage of false alarms and non-vegetation fires of 28% for the period considered. The errors obtained were due primarily to hot surfaces and gas flames.

With the data obtained, we conducted a trend analysis by performing the Mann-Kendall test with the software IDRISI Selva. The mapping obtained by the test was then analyzed and studied to identify the presence of positive or negative trends. After the analysis, the data were further filtered so we only get results with statistical significance. There was no significant trend evident (positive or negative) at the global scale. Small areas that evidenced any statistically significant trends, were studied in detail by interpreting the temporal profile of the data. We concluded that for the most extreme values of trends, the behavior responsible for that was due to lack of data for large time intervals or large concentration data in a short period of time in those places.

## Índice de texto

|  |    |
|--|----|
| 1. Introdução.....   | 9  |
| 2. Dados.....  | 11 |
| 2.1. World Fire Atlas (WFA) .....                              | 12 |
| 2.2. Organização dos registos .....                            | 13 |
| 2.2.1 Filtragem por máscaras.....                              | 14 |
| 2.2.2. Caracterização da superfície do solo (GLC) .....        | 15 |
| 2.2.3. Indústria de exploração de gás e petróleo (FLARES)..... | 16 |
| 2.2.4. Iluminação noturna (NIGHT).....                         | 17 |
| 2.3. – Filtragem manual .....                                  | 18 |
| 2.3.1. Vulcões .....   | 18 |
| 2.3.2. Superfícies quentes.....                                | 19 |
| 2.3.3. Erros de processamento .....                            | 20 |
| 3. Resultados.....   | 21 |
| 3.1. WFA filtrado.....   | 21 |
| 3.2. Diferenças nos dados.....                                 | 35 |
| 3.2.1. Origem dos falsos alarmes .....                         | 35 |
| 3.2.2. Distribuição geográfica dos falsos alarmes.....         | 38 |
| 4. Análise de tendências .....                                 | 41 |
| 4.1. Preparação dos dados .....                                | 41 |
| 4.2. Teste de Mann-Kendall .....                               | 41 |
| 4.3. Estudo de tendências.....                                 | 43 |
| 5. Discussão de resultados .....                               | 52 |
| 6. Referências Bibliográficas.....                             | 54 |

## Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Sequência do processo de limpeza (adaptado de Mota et al., 2006) .....  | 14 |
| Figura 2. Cartografia do GLC para a Península Ibérica e respectiva legenda (adaptado de: <a href="http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/global-land-cover-2000-250m">http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/global-land-cover-2000-250m</a> ) .....          | 15 |
| Figura 3. Registos originais (i). Registos limpos (ii) após a aplicação das máscaras. ....  | 17 |
| Figura 4. Máscara de luzes nocturnas em parte da Península Ibérica. (a vermelho encontram-se as zonas com maior concentração de luzes) .....  | 17 |
| Figura 5. Distribuição gráfica das observações para o ano 2007 e representação da sua média móvel. ....   | 18 |
| Figura 6. Vulcão Danau Sagara Anak na Indonésia (esquerda) e Vulcão Kilauea no Havai (direita). As observações encontram-se representadas pelos pontos vermelhos, a envolvente de 5 km encontra-se representada a vermelho e a envolvente a 10km representada a amarelo. .... | 19 |
| Figura 7. Registos recolhidos no Paquistão entre 8 e 11 de Junho de 2007, provenientes de superfícies quentes com origem em solos nus. ....   | 20 |
| Figura 8. Exemplo de falsos alarmes resultantes de erros de aquisição no dia 12 de Agosto de 2008. ....   | 21 |
| Figura 9. Séries diárias de dados originais do produto WFA. ....  | 23 |
| Figura 10. Séries diárias de dados limpos do produto WFA. ....  | 24 |
| Figura 11. Total das observações registadas (Original), filtradas (Screened) e confirmadas (Veg.Fires). * – Apenas com os 3 primeiros meses. ....   | 25 |
| Figura 12. Distribuição dos dados originais mês a mês (i) e anual (iii) e limpos mês a mês (ii) e anual (iv). ....  | 27 |
| Figura 13. Distribuição mensal de todos os falsos alarmes de 1996 a 2012. ....  | 28 |
| Figura 14. Contagens originais do produto WFA. ....   | 29 |
| Figura 15. Contagens removidas pelo processo de limpeza do produto WFA. ....  | 30 |
| Ilustração 16. Contagens validadas do produto WFA. ....   | 33 |
| Figura 17. Período bimensal com maior número de observações (1996- 2012). ....  | 34 |
| Figura 18. Padrões latitudinais da actividade global do fogo. Número de contagens por faixa de 1º de latitude. ....   | 35 |
| Ilustração 19. Distribuição por classes do GLC das observações. ....  | 37 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 20. Número de observações classificadas por cada filtro. ....   | 37 |
| Figura 21. Distribuição geográfica dos registos eliminados. ....   | 39 |
| Figura 22. Distribuição geográfica dos registos eliminados com origem em luzes nocturnas<br>estáveis. ....   | 40 |
| Figura 23. Distribuição geográfica dos falsos alarmes de superfícies quentes. ....   | 40 |
| Figura 24. Distribuição geográfica dos registos eliminados com origem em chamas de gás.<br>.....   | 40 |
| Figura 25. Valores da estatística $\tau$ sem avaliar a correlação dos dados. ....  | 43 |
| Figura 26. Valores da estatística $\tau$ depois de avaliar a correlação dos dados. ....  | 44 |
| Figura 27. Valores do teste Mann-Kendall. ....   | 45 |
| Ilustração 28. Valores de teste Mann-Kendall a uma significância de 95%. ....  | 46 |
| Figura 29. Valor do teste Mann-Kendall para a região do Japão. ....  | 47 |
| Figura 30. Valor da estatística S ao longo do período considerado (linhas azuis) e tendência<br>linear (linha a vermelho) para a região do Japão. ....   | 47 |
| Figura 31. Valor da estatística S ao longo do período considerado (linhas azuis) e tendência<br>linear (linha a vermelho) para i) Gwangju - Coreia do Sul; ii) ) Kumamoto- Japão e iii)<br>Hiroshima - Japão). A localização destas tendências encontra-se na figura 29). .... | 48 |
| Figura 32. Valor do teste Mann-Kendall para a Rússia. ....   | 49 |
| Figura 33. Valor da estatística S ao longo do período considerado (linhas azuis) e tendência<br>linear (linha a vermelho) para o pixel com maior valor do teste Mann-Kendall assinalado na<br>figura 32. ....  | 49 |
| Figura 34. Valor da estatística S ao longo do período considerado (linhas azuis) e tendência<br>linear (linha a vermelho) para o Paraguai. ....  | 50 |
| Figura 35. Valor da estatística S ao longo do período considerado (linhas azuis) e tendência<br>linear (linha a vermelho) para o sul do Brasil. ....   | 50 |
| Figura 36. Valor da estatística S ao longo do período considerado (linhas azuis) e tendência<br>linear (linha a vermelho) para o Este do Paraguai. ....  | 51 |
| Figura 37. Valor da estatística S ao longo do período considerado (linhas azuis) e tendência<br>linear (linha a vermelho) a nível global. ....   | 51 |

## 1. Introdução

Os fogos de vegetação não são um elemento intrusivo no correcto funcionamento dos diversos ecossistemas nos quais eles estão presentes. Na verdade, são um fenómeno com representação global e que têm uma influência significativa no ambiente e no clima (Andreae, 1991; Levine, 1996; Tansey et al., 2004; Giglio, 2006). Assim, tendo presente a significativa influência deste tipo de evento na composição da atmosfera e no clima mundial, é de todo o interesse estudar a sua distribuição mundial e caracterizar igualmente a sua distribuição cronológica com o objectivo de tentar evidenciar tendências locais ou mundiais no número de ocorrências verificadas.

O estudo realizado reveste-se de particular importância e interesse tendo em conta a presente realidade que enfrentamos no que diz respeito a alterações climáticas. Os fogos têm influência directa nas emissões à escala global de carbono e têm por isso um peso significativo no ciclo do mesmo. Fogos de vegetação são evidentemente um factor importante na desflorestação e consequentes perdas significativas de habitat e biodiversidade. O nosso conhecimento relativamente aos riscos relacionados com as alterações nos regimes do fogo a uma escala global encontra-se de certa forma limitado devido a fracas representações dos fogos e do seu comportamento nos modelos globais (Arino et al., 2011). Os fogos podem ter diferentes origens, sendo que para este estudo interessam os fogos de vegetação e agrícolas. Os fogos de vegetação estão em grande parte atribuídos a causas humanas. Os principais comportamentos humanos que originam estes fogos são o uso em práticas agrícolas, sendo esta uma ferramenta já usada há milhares de anos (Clement & Horn, 2001; Delcourt et al., 1998; Goldammer, 1988) ou por actos de fogo posto com origem maliciosa.

Já foram realizados diversos estudos com o intuito de analisar a existência de tendências sobre este tipo de dados. Estes estudos tiveram o seu início com os trabalhos de Dozier (1981) e Matson e Dozier (1981), onde foi estudada a resposta térmica do sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR). Há mais de 20 anos que se realiza a detecção de fogos activos através de sensores em orbita, que operam em comprimentos de onda desde o visível até ao infravermelho, com uma resolução espacial no nadir entre 1 a 3 km. O canal de infravermelho médio (MIR – middle-infrared) dos principais sensores usados, satura a uma temperatura relativamente baixa e esta limitação, afecta seriamente a capacidade de caracterizar quantitativamente fogos de grandes dimensões (Arino et al., 2011). Esta limitação tem origem no facto dos instrumentos usados para estas observações não terem sido criados originalmente com esse objectivo. A observação de fogos activos tem sido levada a cabo com sensores instalados a bordo de satélites geoestacionários. Esta

configuração origina algumas limitações no sentido que apresenta uma baixa resolução espacial (de 3 a 6 km) e encontram-se limitados em relação à detecção de fogos em zonas de grande latitude, contrastando com a sua maior capacidade de detecção nas zonas dos trópicos. A agência espacial europeia, lançou em Novembro de 1995 o projecto Along Track Scanning Radiometer World Fire Atlas (ATSR-WFA), de forma a realizar um serviço de monitorização de fogos a nível global, usando a informação obtida pelos sensores ATSR-2 e AATSR da agência espacial europeia (Arino & Plummer, 2001; Arino et al., 2005, 2007; Goloub & Arino, 2000; Grégoire et al., 2001; Jenkins et al., 1997), tendo esse programa continuado activo até Março de 2012.

Este estudo teve como objectivo a análise de tendências nos dados referentes a incêndios de vegetação, provenientes do programa World Fire Atlas (WFA). Com esse objectivo, inicialmente realizou-se uma limpeza dos dados de modo a remover falsos alarmes provenientes de erros de aquisição por parte do satélite, pontos quentes originados por indústrias, actividade vulcânica ou locais que apresentem uma temperatura da superfície do solo quente o suficiente no momento da passagem do satélite, para que este classifique o local como fogo de vegetação. Com os dados limpos, a análise de tendências foi realizada com recurso ao programa IDRISI SELVA, que usa o teste de Mann-Kendall para determinar a existência (ou não) de tendências e se possuem um sinal positivo ou negativo.

Anteriormente já foram realizados estudos semelhantes ao realizado nesta dissertação (Arino et al., 2011; Oom & Pereira, 2012), no entanto, nenhum dos estudos realizados contemplou um intervalo de tempo tão grande como o usado nesta dissertação. Esse factor tem todo o interesse, tendo em conta que no que diz respeito a análise de tendências, quanto mais completo e extenso for o intervalo de tempo analisado, mais sólidas serão as conclusões tiradas do estudo.

Foi levado a cabo um estudo de tendências do comportamento do fogo ao longo do tempo em questão (de 1996 a 2012), no sentido de identificar locais nos quais se verificam (ou não) tendências significativas de aumento ou diminuição de ocorrências. Este processo facilita a evidência de zonas de particular interesse no que diz respeito a tendências significativas. Com o estudo de tendências realizado e identificadas algumas áreas de interesse, foi feito um estudo de modo a procurar explicação para esse comportamento. Foi feita uma sobreposição desses locais com cartografia de áreas protegidas a nível mundial (World Data Base on Protected Areas – WDPA 2010) de modo a verificar se a existência de área protegida teve influência ou não na tendência verificada. Foi igualmente feito um estudo do potencial uso de solo nas áreas de interesse de modo a verificar se esse factor tem influência nos resultados obtidos.

## 2. Dados

Os dados obtidos para análise, são resultado do primeiro e mais extenso programa de monitorização global de fogos activos (WFA – world fire atlas), sendo este muito usado pela comunidade científica para numerosos estudos a escala mundial, nomeadamente no campo da química da atmosfera (Hoelzemann et al., 2004; Chin et al., 2002; Clerbaux et al., 2002; Martin et al., 2002<sup>a</sup>, 2002b; van der Werf et al., 2003, 2004).

Essencial para a realização do estudo proposto, é o facto de as observações serem realizadas a partir de satélites. Este facto permite uma cobertura global e contínua, no sentido que permite realizar observações em locais de difícil acesso e com um pequeno intervalo de tempo entre observações (Setzer & Malingreau, 1996; Justice & Korontzi, 2001; Generoso et al., 2003; Simon et al., 2004; Csiszar et al., 2005). Os dados recolhidos são de um programa da Agência Especial Europeia (ESA) de monitorização de fogos activos designado por World Fire Atlas (WFA) e tendo em conta que é o programa que apresenta o mais longo conjunto de dados referentes à ocorrência de fogos de vegetação, já foi por várias vezes utilizado para estudos referentes aos mais diversos tópicos relacionados com o comportamento de fogos de vegetação a escala global. Apesar do seu grande uso, este produto apresenta algumas limitações (Arino & Plummer, 2001) no sentido que devido ao seu método de captura de dados, apresenta uma subestimação em relação ao número real de fogos tendo em conta que apenas realiza passagens à noite.

Assim, o estudo realizado teve como objectivo a análise de tendências presentes num conjunto de dados que continham informações relativas ao número, local e data de incêndios de vegetação a nível mundial. Foi utilizado o produto do programa WFA (<http://due.esrin.esa.int/wfa/>), para um período entre 1 Junho de 1996 a 31 de Março de 2012, sobre o qual se aplicou um processo de filtragem de falsos alarmes (Mota et al., 2006). Neste estudo, foi utilizado um conjunto de 15 anos completos, tornando possível avaliar o comportamento de fogo ano a ano, mas permitindo igualmente analisar o comportamento do fogo em períodos específicos do ano.

Dada a natureza do método de aquisição de informação, torna-se essencial realizar uma filtragem dos mesmos de modo a eliminar falsos alarmes. Teve-se como objectivo a limpeza dos falsos alarmes de modo a apenas se analisar um conjunto de registos que efectivamente correspondem a fogos de vegetação. Feita a limpeza, a análise da existência de alguma tendência nos dados obtidos foi levada a cabo através da realização do teste de Mann-Kendall.

## 2.1. World Fire Atlas (WFA)

O programa em questão teve início com o lançamento do Second European Remote Sensing Satellite (ERS-2) que levou a bordo o sensor “Along Track Scanning Radiometer-2”, tendo este permanecido activo até ao início de 2002. O sensor ATSR tem uma resolução espacial de  $1 \times 1 \text{ km}^2$  no nadir com uma largura de varrimento de 512km, com um intervalo de tempo entre aquisição de imagem do mesmo local e com o mesmo ângulo de observação no equador de 3 dias (de 3 em 3 dias o sensor consegue uma cobertura global). O sensor opera em 4 bandas do visível e do infravermelho médio centrados nos  $0.55 \mu\text{m}$ ,  $0.67 \mu\text{m}$ ,  $0.87 \mu\text{m}$  e  $1.6 \mu\text{m}$  e três canais nas bandas do infravermelho térmico centrados nos  $3.7 \mu\text{m}$ ,  $11.0 \mu\text{m}$  e  $12.0 \mu\text{m}$ . Terminada a missão do ERS-2, foi lançado em Maio de 2002 o satélite ENVISAT com o sensor Advanced Along Track Scanning Radiometer (AATSR) passando a partir daí o produto das observações a ser designado por World Fire Atlas Advanced (WFAA). Em relação à medição da temperatura do solo que se está a observar, o ATSR apresenta uma precisão de  $0.3^\circ\text{C}$  com um aumento de precisão na ordem dos  $0.1^\circ\text{C}$  por década. Esta precisão é conseguida visto que as observações são realizadas com 2 ângulos distintos: um imediatamente por baixo do satélite e mais próximo do nadir e o outro ao longo da órbita do satélite a  $55^\circ$  do nadir, o que resulta em dois ângulos de observação distintos com diferentes espessuras de atmosfera. Este facto permite obter uma estimativa particularmente precisa da perturbação resultante da absorção ou dispersão atmosférica. A utilização do sensor e aplicação do algoritmo do WFA foram feitas à noite de forma a minimizar falsos alarmes resultantes do reflexo do sol ou de superfícies aquecidas pelo sol. Baseia-se no canal dos  $3.7 \mu\text{m}$ , muito sensível à radiação emitida a temperaturas entre  $500^\circ\text{K}$  e  $1000^\circ\text{K}$ , apresentando uma capacidade de detecção de áreas em chamas com uma área mínima de 0.1ha nos  $600^\circ\text{K}$  até 0.01ha nos  $800^\circ\text{K}$  (Arino et al., 2001; Arino & Rosaz, 1999; Mota et al., 2006). A análise das observações registadas é feita com recursos a 2 algoritmos que se caracterizam pela aplicação de limiares de temperatura de brilho: algoritmo 1 inclui todos os pixéis com temperatura de brilho superior a  $312^\circ\text{K}$  ( $39^\circ\text{C}$ ) que corresponde à temperatura de saturação e o algoritmo 2, com um limiar de temperatura de  $308^\circ\text{K}$  ( $35^\circ\text{C}$ ).

Apesar de originar uma grande subestimação a nível global da actividade do fogo, neste estudo foi usado o algoritmo 2 (com um limiar de  $308^\circ\text{K}$ ). A subestimação indicada, tem origem em diversos factores: em primeiro lugar devido à sua resolução grosseira de 1 km (o que exclui fogos de pequena dimensão) e pelo limiar de temperatura (ficando assim a detecção dependente da intensidade do fogo); pelo facto do tempo de cobertura ser apenas de três dias (o que exclui fogos de curta duração como os de savana); e no caso de fogos (principalmente agrícolas) com o seu pico durante o dia que como a passagem é feita de



noite, não são captados pelo sensor (Arino & Plummer., 2001). Segundo Kasischke et al., (2003) o objectivo de reduzir falsos alarmes provenientes de reflexos de luz não é completamente atingido em zonas de mais alta latitude (como o Alasca) onde, no período de Verão, as longas horas de sol prejudicam a detecção de fogos no momento da passagem do satélite, originando inúmeros falsos alarmes. No sentido inverso, há que também considerar os erros de comissão, referidos como sendo em menor número que os de omissão, e provenientes de luzes de cidades, actividade petrolífera e de superfícies quentes como desertos ou zonas desprovidas de coberto vegetal. Assim, tendo em conta as características apresentadas anteriormente, torna-se essencial efectuar uma “limpeza” dos dados de modo a remover falsos alarmes, ou seja, remover registos que o satélite identificou como incêndios de vegetação mas que na realidade não existem (ou que não se originem por um fogo de vegetação) (Mota et al., 2006; Oom et al., 2011).

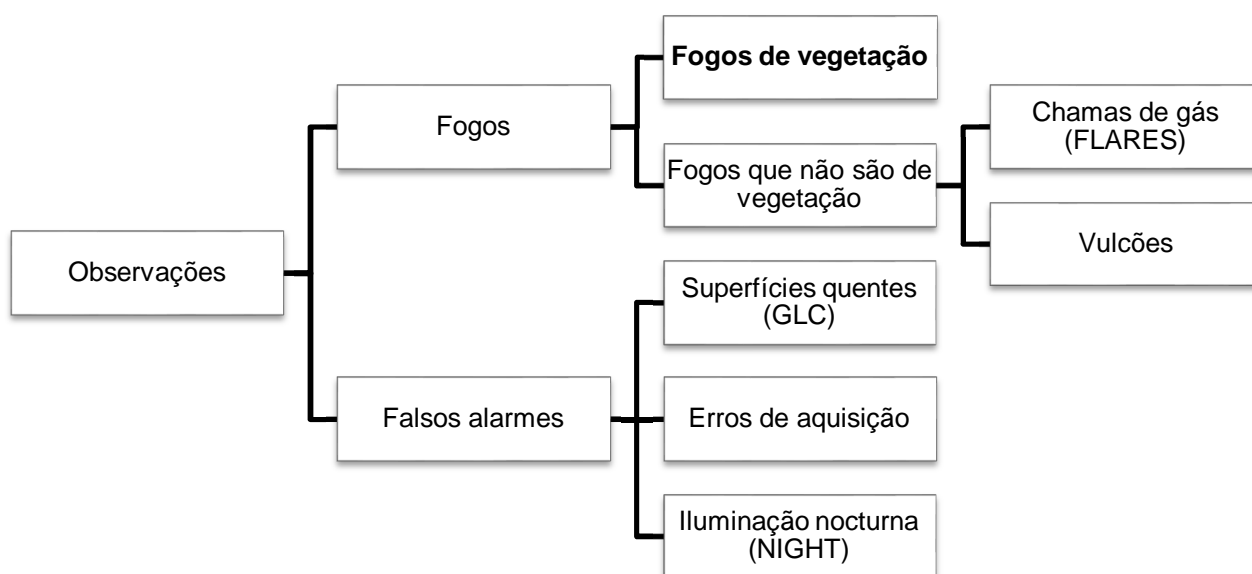
## **2.2. Organização dos registos**

Todas as observações registadas no período de Julho de 1996 a Março de 2012 (cerca de 2.700.031 registos), foram descarregadas do site de acesso livre (<http://due.esrin.esa.int/wfa/>). De seguida foi realizada uma análise das mesmas e aplicado um processo de filtragem complementar ao já realizado por defeito pelo algoritmo usado pelo ATSR. O algoritmo usado pelo ATSR apenas exclui pontos que não apresentem uma temperatura acima do seu limiar (35°C). No entanto, diversos pontos “aceites” pelo algoritmo como registos válidos, não o são na verdade, sendo a natureza destes falsos alarmes de origem variada. Foi por isso realizada uma operação de edição dos dados, dividida em dois componentes principais: aplicação de máscaras e análise visual dos dados. Este processo de edição dos dados, teve por base a metodologia descrita por Mota et al., 2006.

A aplicação de máscaras permite de forma expedita identificar falsos alarmes em zonas onde já se encontram cartografadas áreas que por motivos de indústria ou morfologia do solo, originam falsos alarmes. Assim foram aplicadas 3 máscaras aos dados obtidos. Uma que identifica hot spots provenientes de indústria de exploração de gás e petróleo (FLARES), outra com a caracterização da ocupação do solo (Global Land Cover - GLC) e finalmente uma máscara que identifica pontos quentes provenientes de iluminação nocturna (NIGHT). No entanto, apesar desta filtragem, os dados ainda apresentam diversos falsos alarmes. De forma a excluir estas observações, a segunda parte do processo de limpeza consistiu numa análise visual cuidada dos registos, na qual se procurou e analisou a validade de observações com comportamentos anormais a nível de distribuição geográfica e/ou temporal, particularmente incidindo na identificação de registos provenientes de actividade vulcânica e erros de aquisição. Às ocorrências registadas pelo satélite, foram

então adicionadas as respectivas informações sobre o GLC, FLARES e NIGHT de modo a concentrar num só ficheiro toda a informação necessária para eliminar todos os falsos alarmes. Isto foi feito através dos programas SPSS, e ArcGIs.

Assim, o processo de filtragem encontra-se esquematizado na figura 1, na qual é possível ver a estrutura envolvida no processo de filtragem. As observações são categorizadas como válidas ou falsos alarmes, e no caso de serem falsos alarmes, estas são então categorizadas de modo a identificar qual a origem do falso alarme.



**Figura 1.** Sequência do processo de limpeza (adaptado de Mota et al., 2006)

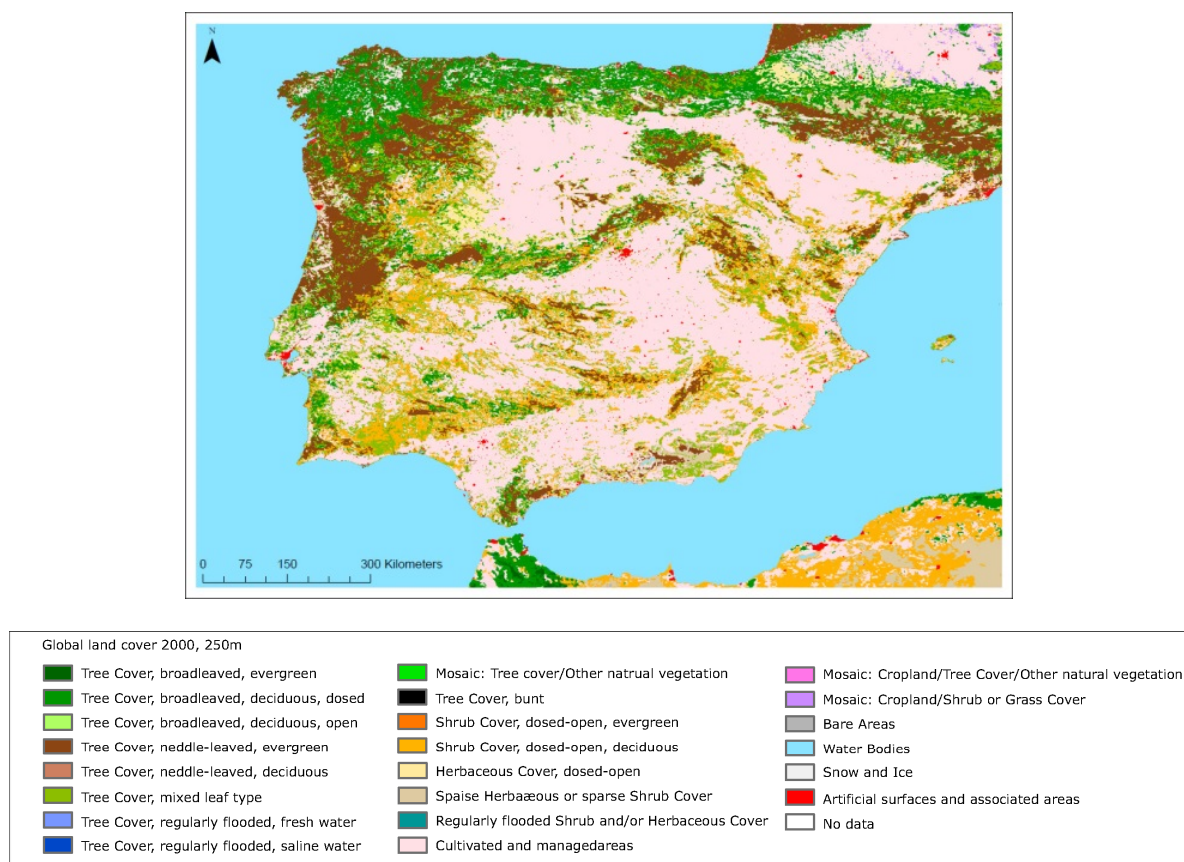
### 2.2.1 Filtragem por máscaras

Foram aplicadas três máscaras distintas, cada uma com um propósito particular. As máscaras usadas consistiram num conjunto de dados mais actualizados possíveis: o mapa Global Land Cover 2000 (GLC2000) (Fritz et al., 2003) que tem por base as imagens de satélite do SPOT-VEGETATION com resolução de 1km para o ano de 2000; um compósito de 2008 de luzes nocturnas (Elvidge et al., 2001) e uma máscara com as chamas de gás de 2007 do Version 4 Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) Operational Linescan System (OLS) Nighttime lights time series data. Por último a actividade vulcânica foi analisada através de relatórios obtidos na sua vasta maioria no site do Smithsonian Institute (<http://volcano.si.edu/>), e também do Volcano World (<http://volcano.oregonstate.edu/>). Os relatórios obtidos continham as datas dos eventos e posteriormente, foi feita uma confirmação visual nos mapas se se verificaram registos coincidentes com essa data na área do vulcão em questão.

A aplicação destas máscaras realizou-se através da adição de informação nas respectivas tabelas de atributos dos registos de modo a que no final do processo de limpeza seja possível seleccionar apenas os registos válidos tendo em conta os parâmetros considerados nas máscaras que determinam a exclusão da observação.

### 2.2.2. Caracterização da superfície do solo (GLC)

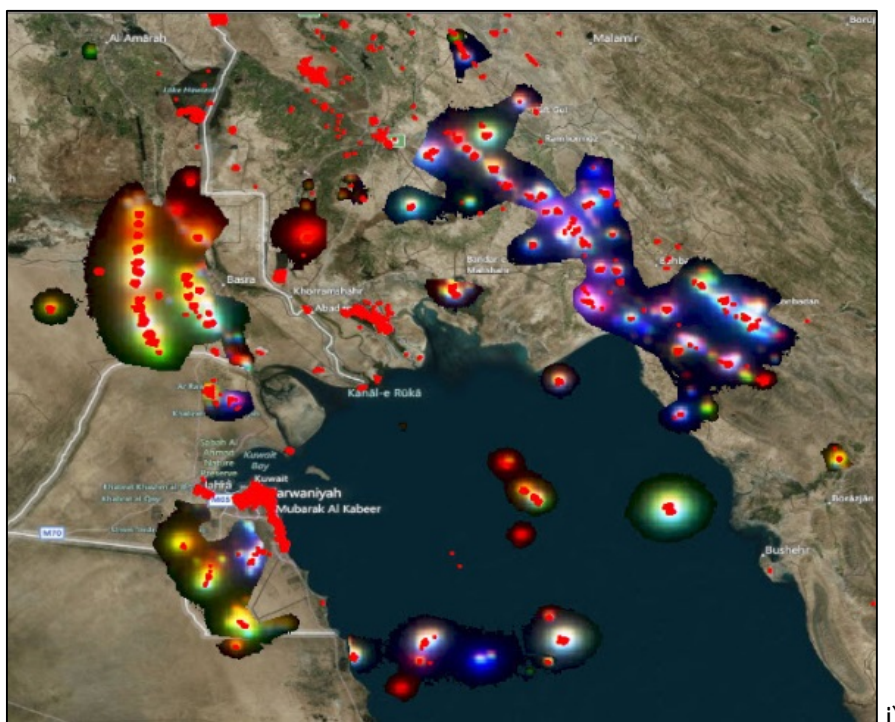
A descrição do solo tem o maior interesse a quando do processo de limpeza dos dados tendo em conta que devem-se de imediato excluir registo coincidentes com locais nos quais um fogo de vegetação seja impossível de ocorrer. Tal como referido, teve-se por base a cartografia proveniente do projecto Global Land Cover 2000 (Fritz et al., 2003), no qual é feita uma classificação do solo a nível mundial distribuída por 22 categorias (Figura 2). Com esta classificação é possível distinguir de forma expedita, solos “incombustíveis” nos quais será legítimo afirmar que não é possível ocorrerem fogos de vegetação. Por exemplo, registos que coincidam em zonas classificadas como “superfícies artificiais” (GLC=20), “solo nu” (GLC=21) e “gelo e neve permanente” (GLC=22), são registos automaticamente classificados como falsos alarmes devido à natureza da superfície onde se verificaram.

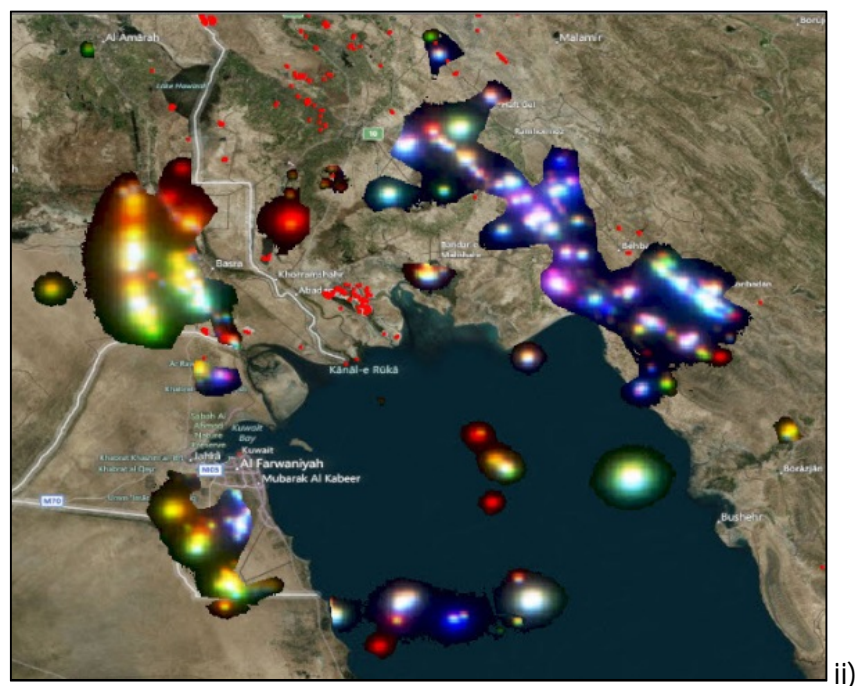


**Figura 2.** Cartografia do GLC para a Península Ibérica e respectiva legenda (adaptado de: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/global-land-cover-2000-250m>)

### 2.2.3. Indústria de exploração de gás e petróleo (FLARES)

A informação usada para esta classificação foi obtida do Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) Operational Linescan System (OLS) Nighttime Lights of the World (<http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp.html>), que também inclui informação sobre as luzes de cidade. Tendo em conta que a actividade relacionada com a actividade de exploração de gás e petróleo origina inúmeros pequenos focos de calor nas suas plataformas de exploração, e tendo em conta que são locais que normalmente apresentam um funcionamento contínuo, será de esperar que o satélite registre neste locais inúmeras ocorrências. No caso de pontos coincidentes com esta indústria, as observações são identificadas, caso apresentem uma distribuição geográfica do tipo circular em áreas nas quais não existam cidades (Elvidge et al., 2001). A figura 3 mostra um exemplo que valida a aplicação destas máscaras, neste caso no Kuwait. Os registos encontram-se representados pelos pontos vermelhos, e as restantes manchas representam as diferentes concentrações de pontos quentes provenientes de chamas de gás.

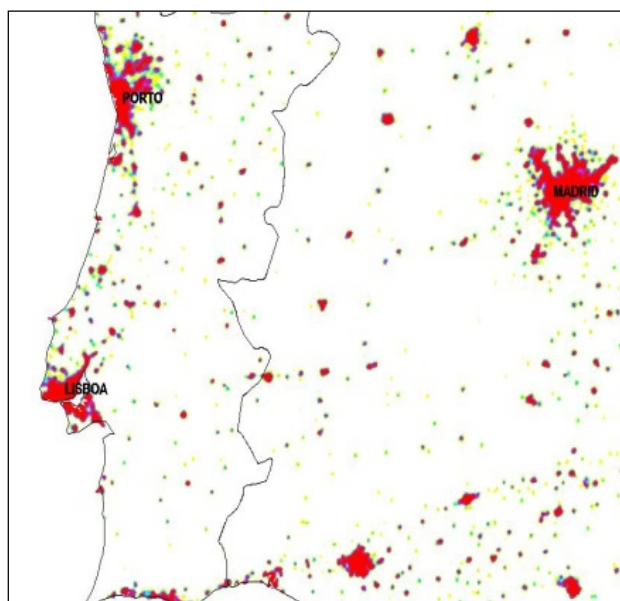




**Figura 3.** Registos originais (i). Registos limpos (ii) após a aplicação das máscaras.

#### 2.2.4. Iluminação nocturna (NIGHT)

Em zonas com bastante concentração populacional, principalmente no hemisfério norte (América do Norte, Europa ou Ásia), como consequência da extensa iluminação artificial existente nesses locais, nestas zonas ocorrem por vezes locais com uma temperatura à passagem do satélite que originam falsos alarmes. A figura 4 apresenta um exemplo da máscara de luzes nocturnas para a Península Ibérica.

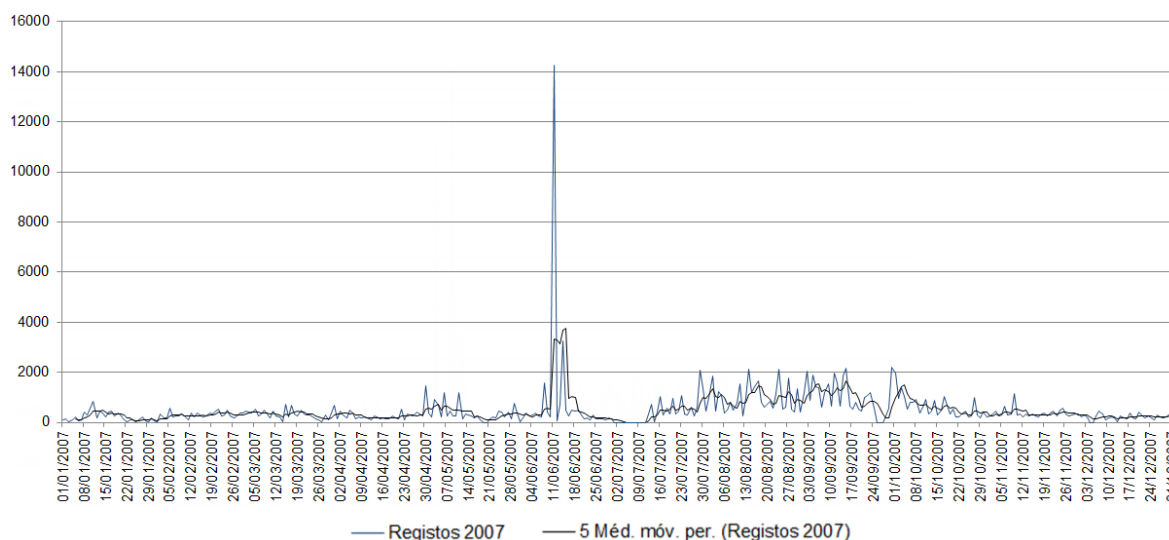


**Figura 4.** Máscara de luzes nocturnas em parte da Península Ibérica. (a vermelho encontram-se as zonas com maior concentração de luzes)



### 2.3. – Filtragem manual

Complementar à filtragem realizada anteriormente, realizou-se ainda uma filtragem manual, com uma análise visual de padrões anormais principalmente referentes a actividade vulcânica e também com origem em falsos alarmes provenientes de erros de aquisição por parte do próprio satélite. Esta análise foi feita de forma manual através da interpretação visual dos mapas produzidos. Com o objectivo de identificar de forma mais expedita situações anómalas, todas as observações para cada ano foram agrupadas num gráfico de linha, tendo sido posteriormente aplicado sobre os mesmos uma linha da média móvel. Este procedimento permite evidenciar picos de observações anormais, que foram posteriormente analisados para determinar a origem do número elevado de observações. Na figura 5 temos um exemplo desta operação, neste caso para o ano de 2007, no qual o maior pico corresponde a uma grande concentração proveniente de erros devido a superfícies quentes (Figura 5).

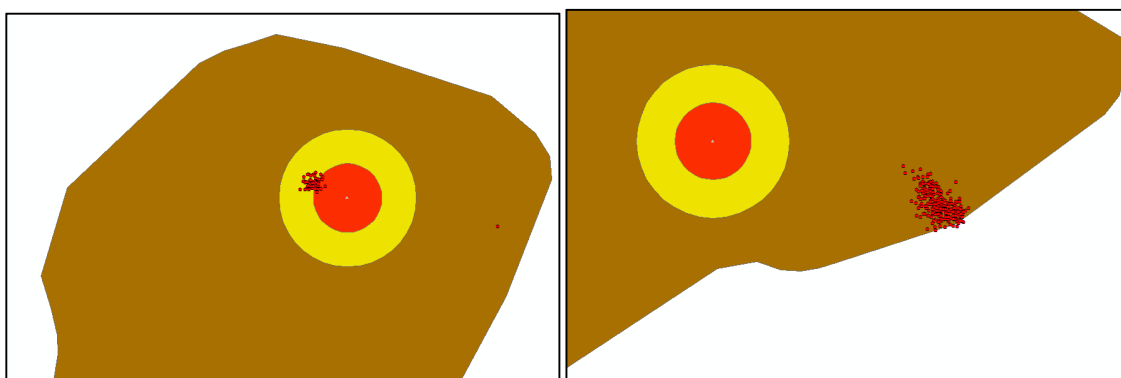


**Figura 5.** Distribuição gráfica das observações para o ano 2007 e representação da sua média móvel.

#### 2.3.1. Vulcões

Para a limpeza dos dados em relação à actividade vulcânica, obteve-se o registo mais detalhado possível dos vulcões activos para as datas em estudo. Tendo por base a cartografia referente à localização dos vulcões a nível mundial, foram definidos dois círculos envolventes para cada vulcão. O primeiro com 5km de raio e um segundo com 10km de raio. À cartografia original proveniente do ATSR foi sobreposta a cartografia criada com os círculos envolventes. Foi adicionado um campo na tabela de atributos dos dados com o nome “Vulcões” no qual se introduziu o valor de “1” de cada vez que algum registo era confirmado como sendo consequência de actividade vulcânica.

Registos provenientes de actividades vulcânicas podem ser consequência de torrentes de lava nas encostas dos vulcões ou resultado de nuvens piroclásticas com elevadas temperaturas. Por princípio, todas as observações coincidentes com a envolvente de 5km foram classificadas como falsos alarmes provenientes de actividades vulcânica. Para a zona da envolvente de 10km, através dos relatórios obtidos de actividade vulcânica, se no ano em questão se tivesse verificado actividade, foi feita uma validação visual da área de modo a verificar se existia uma concentração anormal de registos nas redondezas do vulcão em questão. Para além disso, foi feita uma análise visual geral, com o objectivo de procurar casos nos quais se verificasse uma grande concentração de observações. Dependendo da existência ou não de uma elevada concentração das observações (tanto geográfica como temporal), estas foram ou não classificadas como falsos alarmes. Na figura 6 podem ver-se dois exemplos de comportamentos distintos em relação a falsos alarmes provenientes de vulcões. À esquerda está representada uma distribuição típica como consequência de uma erupção vulcânica. Já à direita estão representados falsos alarmes provenientes de torrentes de lava, já longe do vulcão em questão.

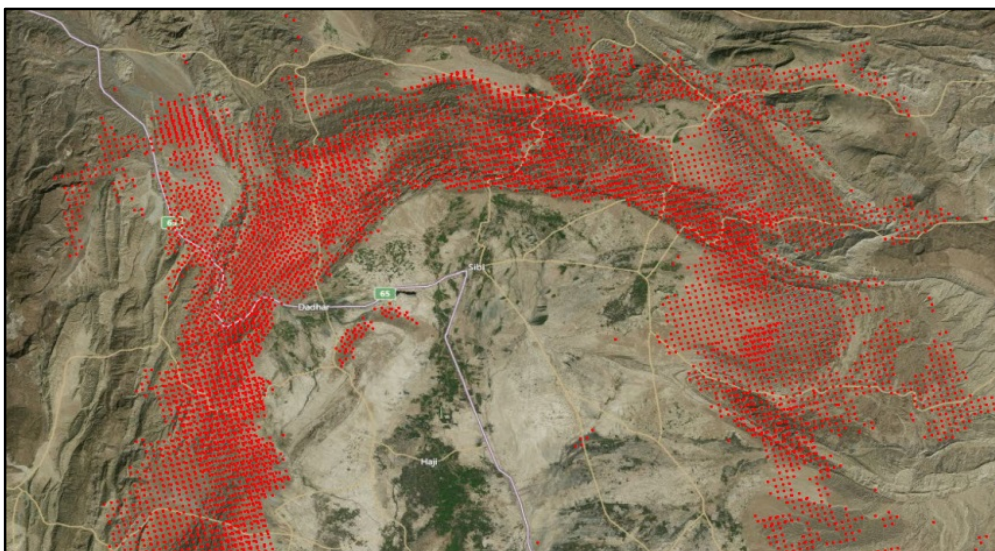


**Figura 6.** Vulcão Danau Sagara Anak na Indonésia (esquerda) e Vulcão Kilauea no Havai (direita). As observações encontram-se representadas pelos pontos vermelhos, a envolvente de 5 km encontra-se representada a vermelho e a envolvente a 10km representada a amarelo.

### 2.3.2. Superfícies quentes

Tal como para a actividade vulcânica, foi feita uma análise similar, desta vez de forma a filtrar falsos alarmes provenientes de superfícies quentes. Tendo em conta que o ATSR realiza as suas passagens por volta das 22h, qualquer ponto acima de 35°C é classificado como sendo um fogo de vegetação. No entanto, esta abordagem é demasiado simplista visto que diversas superfícies absorvem o calor durante o dia e após o por do sol libertam-no ainda durante um período considerável de tempo (por exemplo grandes áreas de aglomerados rochosos ou de solo nu). Foi adicionado um campo na tabela de atributos dos dados com o nome “HotSurfaces” no qual se introduziu o valor de “1” de cada vez que algum registo era confirmado ser consequência de uma superfície quente.

Grande parte destes falsos alarmes já são identificados como tal através da cartografia proveniente do GLC que em zonas de solo nu, indústrias, neve permanente ou massas de água categoriza de imediato como falsos alarmes estes registos. Ainda assim, e apesar do progressivo ajustamento do algoritmo em uso, uma grande quantidade de observações que passaram pelos filtros aplicados, são provenientes de superfícies quentes e não de fogos de vegetação. A figura 7 apresenta um exemplo de uma elevada concentração de observações provenientes de superfícies quentes no Paquistão.

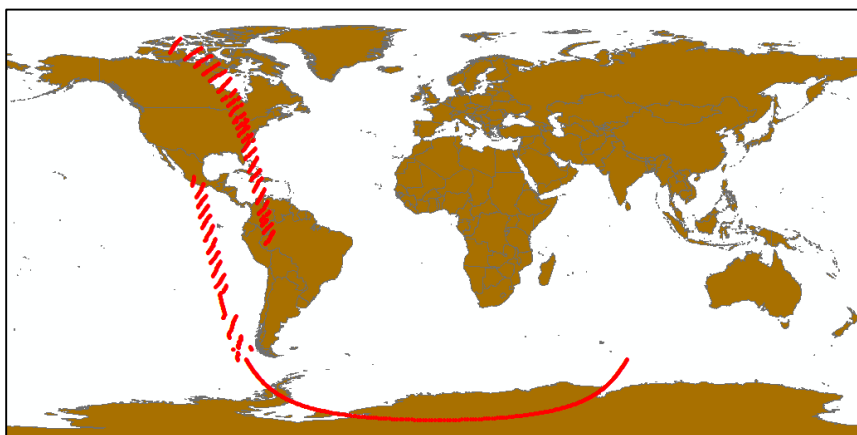


**Figura 7.** Registos recolhidos no Paquistão entre 8 e 11 de Junho de 2007, provenientes de superfícies quentes com origem em solos nus.

### **2.3.3. Erros de processamento**

A eliminação destes tipos de falsos alarmes, foi levada a cabo de forma similar à limpeza de falsos alarmes provenientes da actividade vulcânica, ou seja, através de uma análise visual de distribuições com comportamento anormal ou através da análise do gráfico da média móvel que evidência grandes concentrações de registos. A identificação destes falsos alarmes revelou-se um pouco mais complicada em alguns casos e mais expedita noutros. Nos casos mais directos, foi possível uma identificação relativamente rápida dos mesmos pois as observações apresentavam um padrão de distribuição espacial muito artificial, sistemática e com elevada concentração cronológica e espacial. Um exemplo extremo deste comportamento verificou-se no ano de 2008 (figura 8). Registou-se uma grande anomalia na recolha de dados, todos no dia 12 de Agosto. Neste dia verifica-se um número anormal de registos, a maioria sob os oceanos, mas com um claro padrão de distribuição geográfica associado ao movimento do próprio satélite. Estes registos foram devidamente identificados e caracterizados como erros de processamento.





**Figura 8.** Exemplo de falsos alarmes resultantes de erros de aquisição no dia 12 de Agosto de 2008.

### 3. Resultados

#### 3.1. WFA filtrado

Os resultados obtidos para o período de Janeiro de 1996 a Março de 2012, foram agregados num gráfico que mostra a distribuição dos dados originais ao longo da série temporal em estudo (figura 9). É possível verificar a existência de um padrão sazonal, com um pico no período do verão no hemisfério norte, nos meses de Agosto e Setembro. Picos fora deste período (principalmente nos anos de 2004 e 2007) devem-se, por norma, a falsos alarmes. O gráfico apresenta dias com praticamente zero registos (ou mesmo zero), originados por erros de processamento que resultaram em dados incompletos ou dias sem dados. A figura 10 apresenta a mesma sequência cronológica, mas desta vez com a distribuição dos valores já corrigidos. Nesta figura está também evidente uma sazonalidade, com um comportamento semelhante aos dados originais mas, como seria de esperar, com uma amplitude inferior de valores.

O pico verificado no dia 11 de Julho de 2007, apesar de apresentar um comportamento aparentemente anormal, o que poderia ser indicação de erros que não foram filtrados, corresponde na verdade a registos legítimos. Este pico deve-se a uma grande concentração de registos na zona da costa oeste da China, na qual neste dia se registaram aproximadamente 3225 fogos activos, provenientes de queimadas agrícolas nessa área.

Para o período considerado de cerca de 15 anos completos, mais os três primeiros meses de 2012, registou-se um total de 2.700.031 registos, dos quais foram excluídos cerca de 28.14%, correspondendo a 759.692 falsos alarmes. Em média, por ano foram filtrados cerca de 27.8% das observações, sendo que o ano com menor número de dados excluídos foi

1997 (20.64%) e o ano com o comportamento oposto, com o maior número de dados excluídos foi o de 2005 (38.42%), (figura 11).

A figura 12i-iv apresenta a distribuição dos dados originais e confirmados relativamente à data de ocorrência em relação ao ano e ao mês, apresentando diversos gráficos de caixa e bigodes com o valor mínimo, máximo, mediana, o valor do primeiro e do terceiro quartil. Como se pode observar, quer seja para o ano ou para o mês, as principais diferenças ocorrem na amplitude dos valores apresentados, sendo a gama de valores dos dados limpos obrigatoriamente inferior à dos dados originais devido à remoção das diversas observações classificadas como falsos alarmes. Em relação à distribuição mensal ao longo do período considerado, denota-se um comportamento semelhante entre os dados originais e os limpos, com exceção de alguns picos esporádicos, nomeadamente para os dados originais referentes ao mês de Abril que, enviesados pelo mês de Abril de 2004 com cerca de 36594 registos (figura 12i), apresentam um enorme pico no gráfico. Também na distribuição mensal, após limpos os dados, fica evidente uma alteração na amplitude dos valores das observações.

Original ATSR (1996 - 2012)

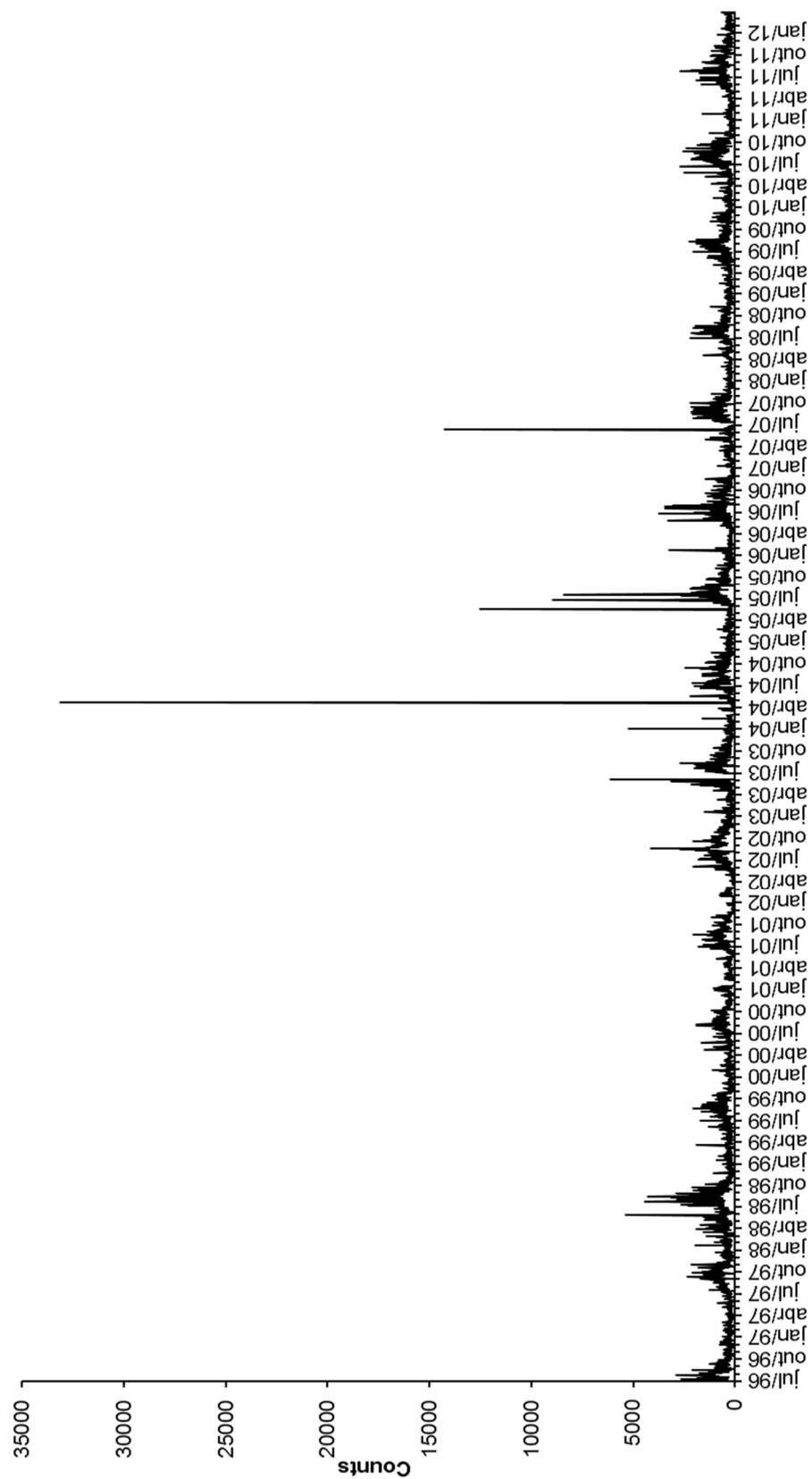


Figura 9. Séries diárias de dados originais do produto WFA.

Clean ATSR (1996 - 2012)

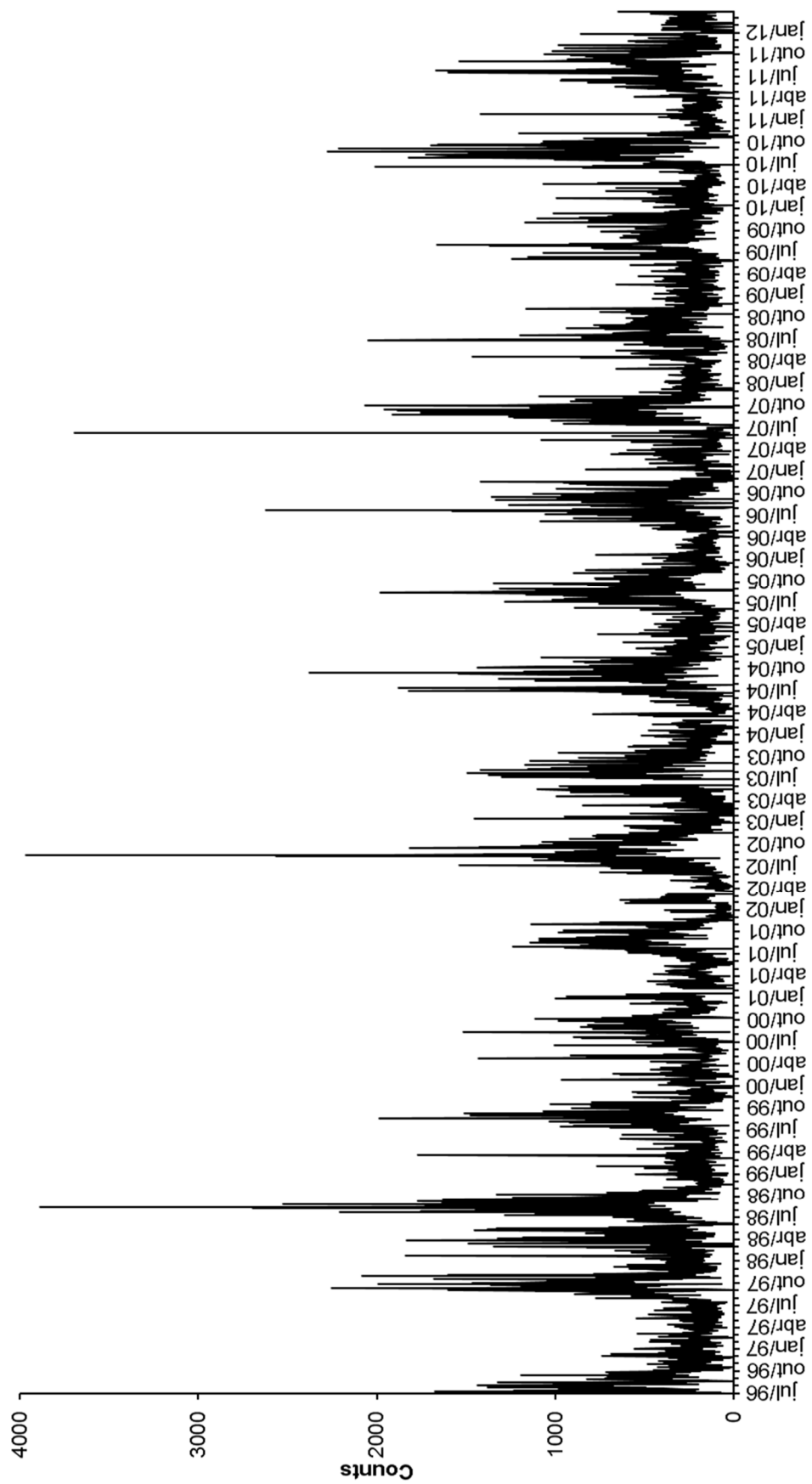


Figura 10. Séries diárias de dados limpos do produto WFA.

|              | <b>Original</b> | <b>Screened</b> | <b>% Screened</b> | <b>Veg.Fires</b> | <b>% Veg.Fires</b> |
|--------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------|--------------------|
| <b>1996</b>  | 98609           | 25314           | 25.67             | 73295            | 74.33              |
| <b>1997</b>  | 164221          | 33896           | 20.64             | 130325           | 79.36              |
| <b>1998</b>  | 238137          | 67431           | 28.32             | 170706           | 71.68              |
| <b>1999</b>  | 155718          | 39959           | 25.66             | 115759           | 74.34              |
| <b>2000</b>  | 150416          | 40065           | 26.64             | 110351           | 73.36              |
| <b>2001</b>  | 141215          | 35907           | 25.43             | 105308           | 74.57              |
| <b>2002</b>  | 176909          | 38898           | 21.99             | 138011           | 78.01              |
| <b>2003</b>  | 158042          | 42178           | 26.69             | 115864           | 73.31              |
| <b>2004</b>  | 193506          | 73607           | 38.04             | 119899           | 61.96              |
| <b>2005</b>  | 202049          | 77619           | 38.42             | 124430           | 61.58              |
| <b>2006</b>  | 165783          | 56260           | 33.94             | 109523           | 66.06              |
| <b>2007</b>  | 180839          | 50860           | 28.12             | 129979           | 71.88              |
| <b>2008</b>  | 153769          | 41149           | 26.76             | 112620           | 73.24              |
| <b>2009</b>  | 158711          | 46231           | 29.13             | 112480           | 70.87              |
| <b>2010</b>  | 181184          | 47112           | 26.00             | 134072           | 74.00              |
| <b>2011</b>  | 160410          | 39793           | 24.81             | 120617           | 75.19              |
| <b>2012*</b> | 20513           | 3413            | 16.64             | 17100            | 83.36              |
| <b>TOTAL</b> | <b>2700031</b>  | <b>759692</b>   |                   | <b>1940339</b>   |                    |
| <b>MÉDIA</b> | <b>160410</b>   | <b>41149</b>    | <b>26.64</b>      | <b>115864</b>    | <b>73.36</b>       |

**Figura 11.** Total das observações registadas (Original), filtradas (Screened) e confirmadas (Veg.Fires). \* – Apenas com os 3 primeiros meses.

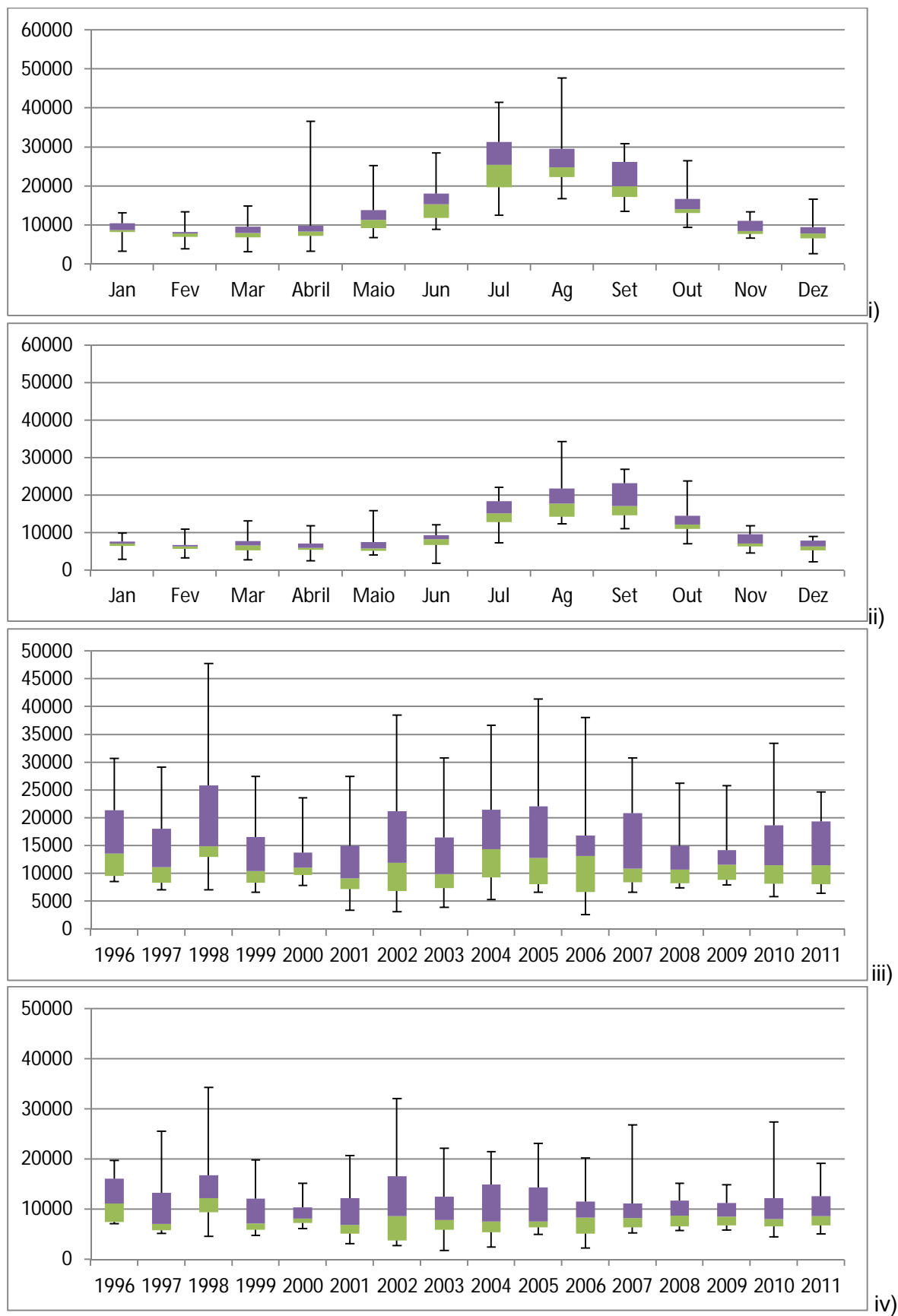
Originalmente o mês com maior número de observações era Julho, no entanto, já só considerando os dados limpos, verifica-se que o mês com a maior amplitude nos dados obtidos é agora o mês de Setembro. É ainda possível verificar que em relação à distribuição mensal, praticamente todos os meses apresentam uma maior concentração de valores entre o primeiro quartil e a mediana, indicando que valores acima da mediana, apresentam-se como valores mais pontuais pois representam eventos mais extremos. Analisando graficamente a distribuição das observações a uma escala mensal, de certo modo pode-se afirmar que possuem uma distribuição do tipo gaussiana, pois o “desenho” do gráfico realmente assemelha-se ao de uma curva de Gauss. Tendo por base esta conclusão, pode-se concluir que o mês que apresenta maior número de observações, não andarão muito longe do mês correspondente ao meio da época de incêndios. (Oom, 2006).

Relativamente aos dados referentes à distribuição anual, mais uma vez é evidente a diminuição na amplitude dos mesmos quando comparados os dados originais com os dados limpos. Mais uma vez, a maior concentração de dados encontra-se entre o primeiro quartil e a mediana, indicando também que estes são os valores mais típicos para o período considerado. Após a limpeza dos dados, fica evidente a presença de um pico cíclico relativamente a valores máximos registados (figura 12iv), com um intervalo médio de três

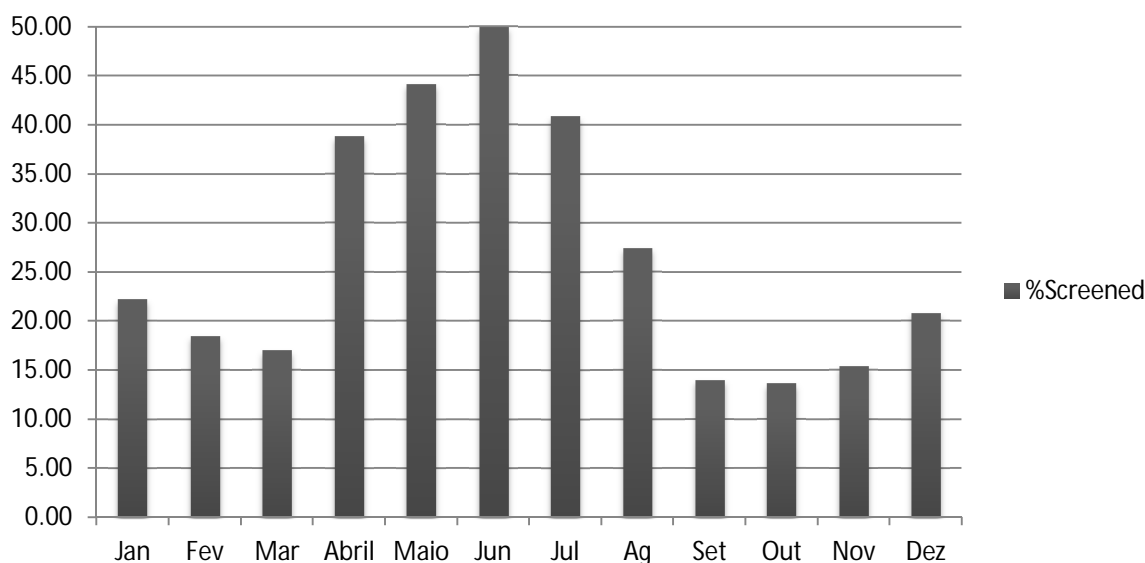
anos, sendo ainda possível verificar que nos anos de 1998, 2002, 2007 e 2010 registaram-se valores máximos muito superiores aos restantes anos: Agosto com 34298 observações no ano de 1998, Agosto com 32022 observações para 2002, Setembro com 26850 observações em 2007 e Setembro com 23223 observações no ano de 2010. Após a análise destes meses, é possível verificar que estes valores não têm origem numa grande concentração de valores num local específico. Estes meses apresentam uma distribuição bastante vasta por todo o globo no que diz respeito aos registos obtidos, apresentando um comportamento bastante similar entre estes quatro anos. A principal concentração de registos obtidos para este período encontra-se no hemisfério sul, sendo que também apresentam bastantes registos na Europa e América do Norte.

De notar que nos gráficos relativos à distribuição anual, o ano de 2012 não se encontra presente pois apenas existem observações para os três primeiros meses do ano o que não adicionaria informação relevante ao gráfico. Já no caso da distribuição mensal, esses três primeiros meses de 2012 foram tidos em conta a quando da agregação dos valores.

Concluída a limpeza dos dados, foram realizadas diversas análises dos mesmos com o intuito de estudar o comportamento dos filtros usados ou por exemplo a distribuição geográfica dos falsos alarmes detectados. Para todos os anos, foi feita uma agregação mensal e criado um gráfico com a distribuição dos falsos alarmes ao longo do ano (figura 13). Como se pode observar, o pico no número de falsos alarmes ocorre precisamente no período de maior incidência de fogos de vegetação (verão no hemisfério norte), principalmente devido ao enorme número de falsos alarmes provenientes de superfícies quentes que se verificam nesta altura do ano.



**Figura 12.** Distribuição dos dados originais mês a mês (i) e anual (iii) e limpos mês a mês (ii) e anual (iv).



**Figura 13.** Distribuição mensal de todos os falsos alarmes de 1996 a 2012.

As figuras 14, 15 e 16 apresentam respectivamente, as contagens de observações por células de meio grau para os dados originais, para os dados removidos e para os dados confirmados. De acordo com o número de contagens, cada pixel foi classificado como pertencente a uma de quatro classes criadas: 1 a 5; 6 a 50; 51 a 500 e mais de 500. Devido ao elevado número de observações considerando todos os anos, as imagens 14 e 16 são bastante semelhantes mas, no entanto, apresentam diferenças significativas, essenciais para uma correcta análise de tendências. Comparando as duas, tornam-se evidentes os principais locais nos quais foram eliminados observações provenientes de falsos alarmes, sendo mais uma vez o Golfo Pérsico, o norte da Rússia e o Mar do Norte as principais zonas. A figura 16 apresenta a distribuição mundial de fogos de vegetação, com grandes concentrações nas zonas tropicais e subtropicais (savanas e florestas do sul do México, savanas brasileiras e no hemisfério norte de África), nas florestas do sudoeste asiático e nas savanas arborizadas do norte da Austrália. Nas latitudes mais altas, existe uma concentração razoável de registos na Sibéria oriental e no Canadá. Esta distribuição geográfica mundial é muito semelhante à proposta por outros autores, em estudos anteriores (Dwyer et al (2000<sup>a</sup>, 2000b), Csiszar et al. (2005), Giglio et al. (2006) B. W. Mota and J.M.C. Pereira et al (2006)). Apesar das conclusões apresentadas relativamente à localização das principais concentrações de fogos de vegetação, podem ocorrer grandes fogos de vegetação em zonas de latitudes médias a altas.



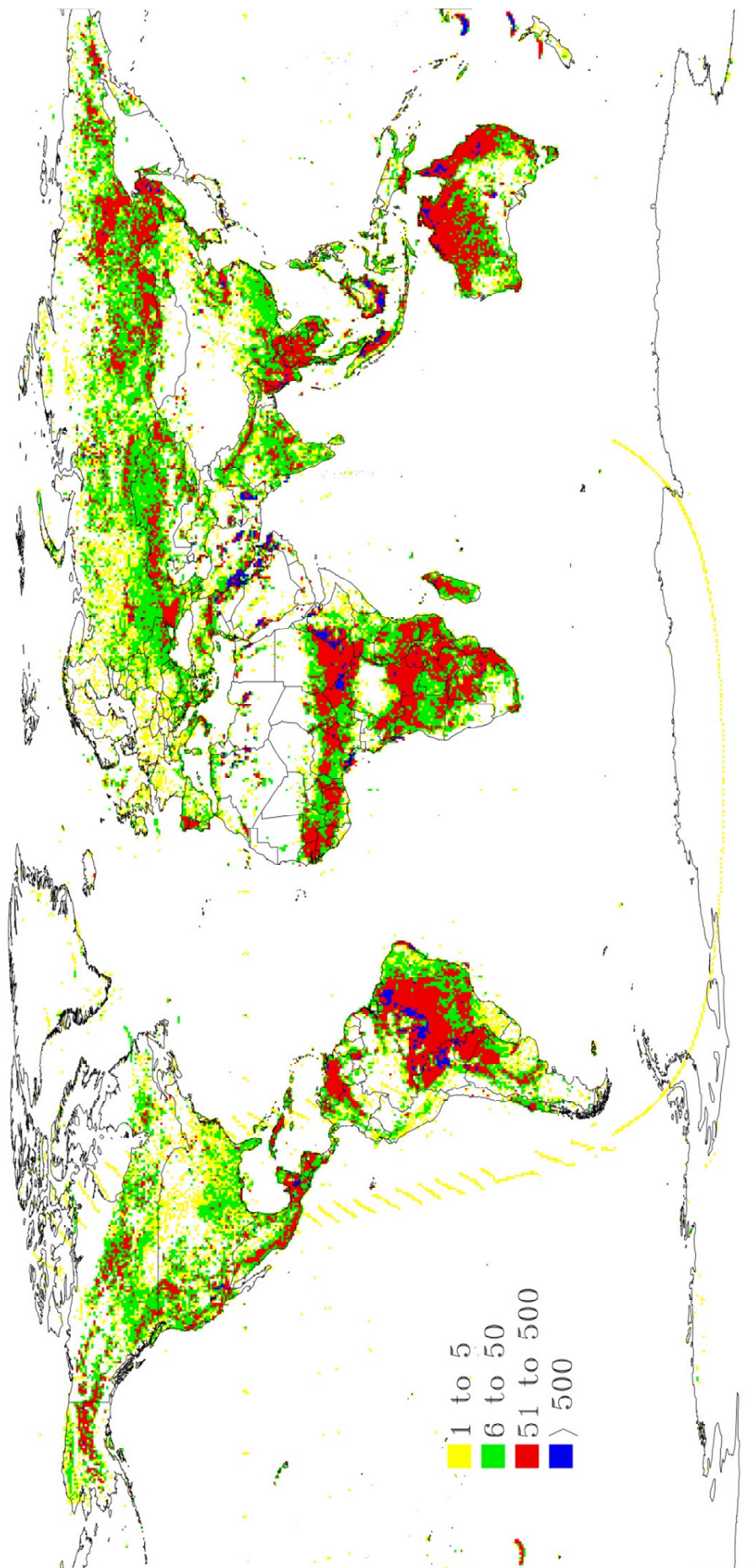
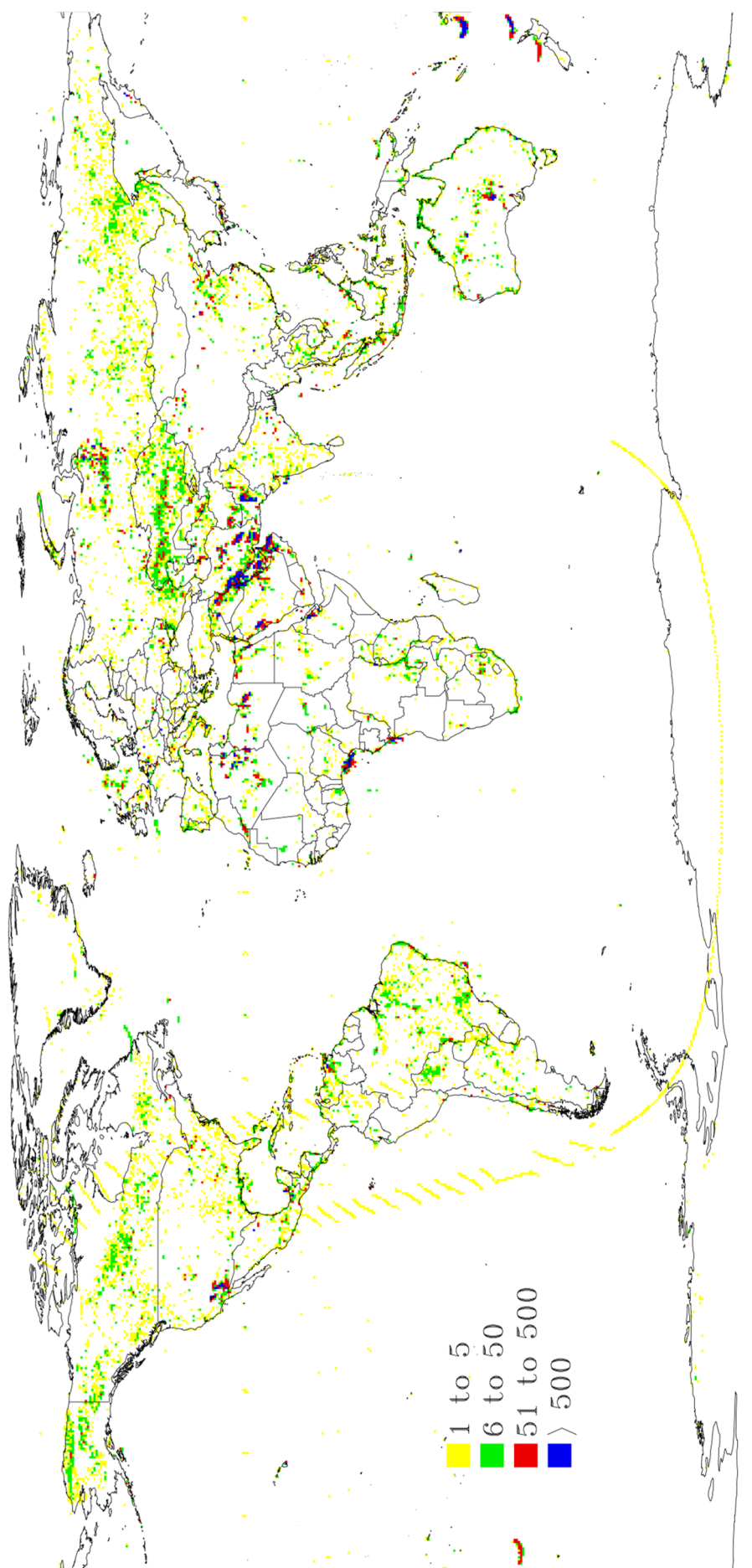


Figura 14. Contagens originais do produto WFA.



**Figura 15.** Contagens removidas pelo processo de limpeza do produto WFA.

A figura 17 representa o número de contagens nos períodos bimensais que, nos 16 anos analisados, apresenta um maior número médio de observações. Se se assumir que a distribuição normal dos fogos apresenta uma forma gaussiana, o mês que apresente maior número de observações não estará muito longe do mês correspondente ao meio da época de fogos. Julho, Agosto e Setembro aparecem representados nos dois hemisférios como os meses com maior número de observações. A maior parte das zonas boreais do hemisfério norte têm o máximo de actividade no período de Maio a Agosto. As zonas tropicais ou próximas do equador apresentam uma correlação forte entre os meses da época seca e os meses com maior número de observações. Isso é evidente por exemplo no continente Africano onde do hemisfério norte para o hemisfério sul existe uma diferença de cerca de 6 meses relativa ao mês ou meses que apresentem maior número de fogos. Enquanto no hemisfério norte, próximo do equador numa faixa desde o Senegal até à Etiópia, o maior número de fogos ocorre entre os meses de Dezembro e Janeiro, à medida que a época seca deriva para o hemisfério sul os meses de Maio até Setembro aparecem como os meses mais relevantes numa direcção Oeste-Este, desde o norte de Angola em Junho-Julho, até Moçambique em Setembro (Silva et al., 2003). Este facto deve-se à deslocação da Zona de Convergência Inter-Tropical (ZCIT) sobre África, deslocando-se do hemisfério Sul para o Norte entre Janeiro e Julho, controlando assim os regimes de chuva em África (Tyson & Preston-White, 2000). Ainda nas zonas tropicais, na região do sudeste asiático, a maior parte dos fogos ocorrem entre Janeiro e Abril na parte peninsular e parte norte do arquipélago da Indonésia.

A maior parte dos fogos na América do Sul ocorrem nos meses da Primavera a norte do equador, com uma gradação de Sul para Norte, começando entre Dezembro e Março para as savanas da Venezuela e Colômbia e do estado brasileiro de Roraima, até aos meses de Maio e Junho a acontecerem no México. A sul do equador, a América do Sul nomeadamente o Brasil, apresenta uma grande concentração de fogos nos meses de Julho a Outubro, na fronteira sul da floresta Amazónica e nas savanas do Cerrado brasileiro, na parte Este e Sul do território (estes fogos são em grande maioria devido à criação de áreas agrícolas e pastagens (Barbosa & Fearnside, 2004)).

No norte da Argentina o maior número de fogos ocorre nos meses de Dezembro e Janeiro, com destaque para o ano de 2000/2001, quando uma Primavera muito húmida seguida de um Verão com temperaturas muito altas, providenciaram condições extremas para a ocorrência de fogo (Dentoni, 2001).

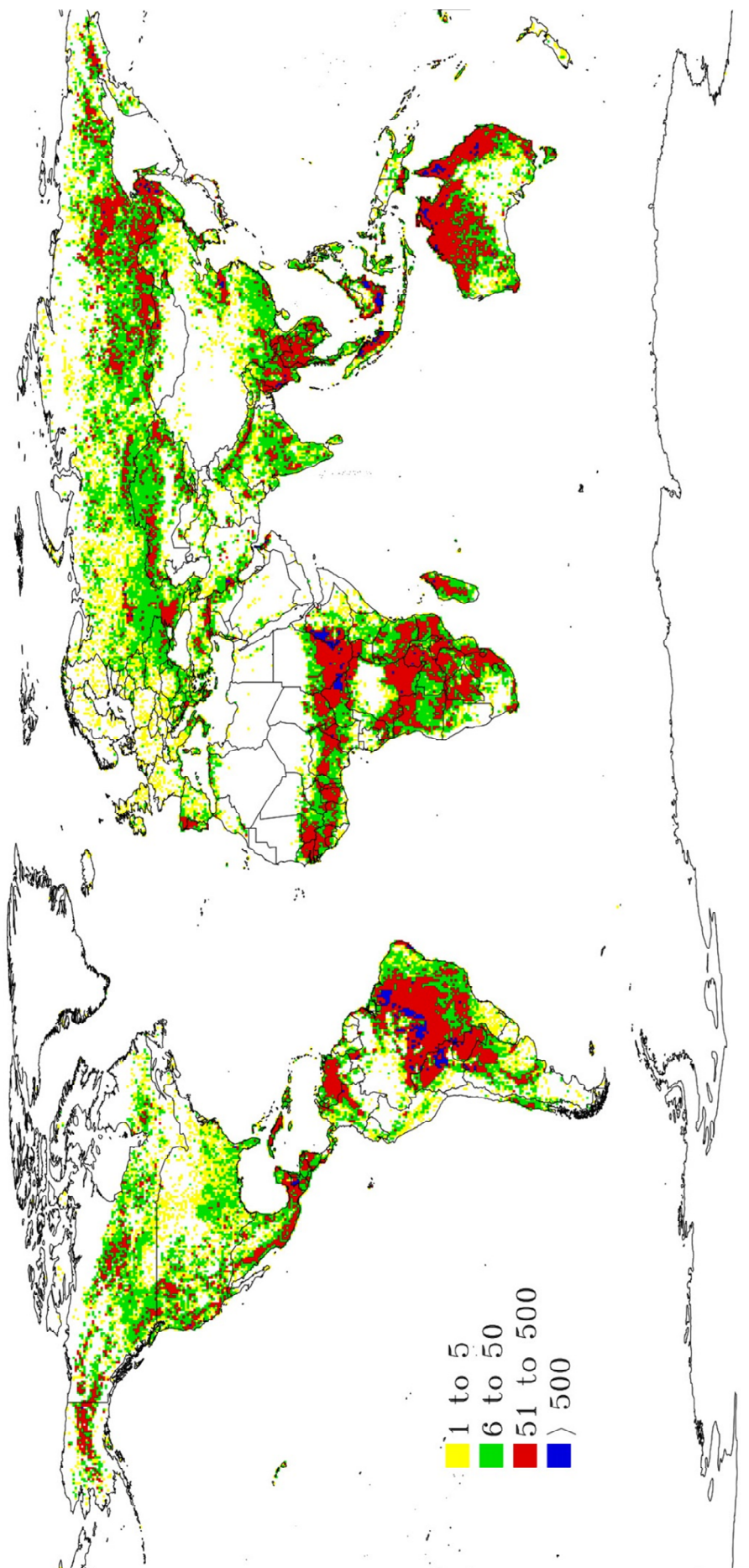
A Austrália, em especial nas zonas das savanas arborizadas da região de Arnhem Land, apresenta um padrão semelhante à parte sul do arquipélago da Indonésia, com os meses de Setembro e Outubro a serem os meses que, de uma forma geral, apresentam um maior

número de fogos, associado à cultura de espécies de sorgo e cana do açúcar, numa gradação no sentido Oeste-Este de Maio até Novembro (Dwyer et al., 2000; Stroppiana et al., 2002; Giglio et al., 2006). Na parte nordeste do território, a maior parte dos fogos ocorre no período entre Outubro e Dezembro, enquanto na costa sul ocorre entre os meses de Janeiro e Fevereiro (Duncan et al., 2003).

Regiões como o Alasca, Canadá, região Trans-Baikal na Rússia, incluindo o extremo oriente siberiano são os locais onde se regista um maior número de fogos e onde as florestas boreais são o tipo de vegetação predominante. Também os anos de 1998 e 2002 foram muito importantes em termos de número de fogos especialmente no extremo oriente siberiano, fronteira da China com a Rússia e na zona de Khabarovsk e Yakutia, duas províncias russas (Sukhinin et al., 2004; Soja et al., 2004a). Em 1998 foram reportados na parte oriental da Rússia fogos extensos que queimaram mais de 5 milhões de ha (Kasischke, 1999). Em termos mensais a maior parte dos fogos ocorre no período entre Maio e Setembro, indo desde as queimadas agrícolas europeias até aos fogos nas florestas do Canadá e da Rússia onde está presente a maior parte da floresta boreal mundial (Conard et al., 1997; Kasischke et al., 2000). Os fogos boreais ocorrem neste período devido ao aumento de temperatura e ao facto de ser a época em que as descargas eléctricas (uma das causas frequentes de fogo nas zonas boreais) ocorrem em maior número (Stocks, 2001). Excepções aparecem na parte nordeste da Mongólia, na província da Manchúria na China, na fronteira com a Rússia e a norte da Mongólia, onde os fogos acontecem mais cedo logo após o degelo, para queima do restolho. No entanto, estas mesmas áreas voltam a arder em Setembro-Outubro (Tansey et al., 2004). Aliás, nota-se um gradiente de sul para norte na zona boreal russa começando em Abril nas fronteiras com a Mongólia e Cazaquistão até Julho, Agosto nas latitudes a rondar os 70°N (Soja et al., 2004b). Na zona do Mediterrâneo e Península Ibérica, os fogos ocorrem em maior número nos meses de Julho e Agosto.

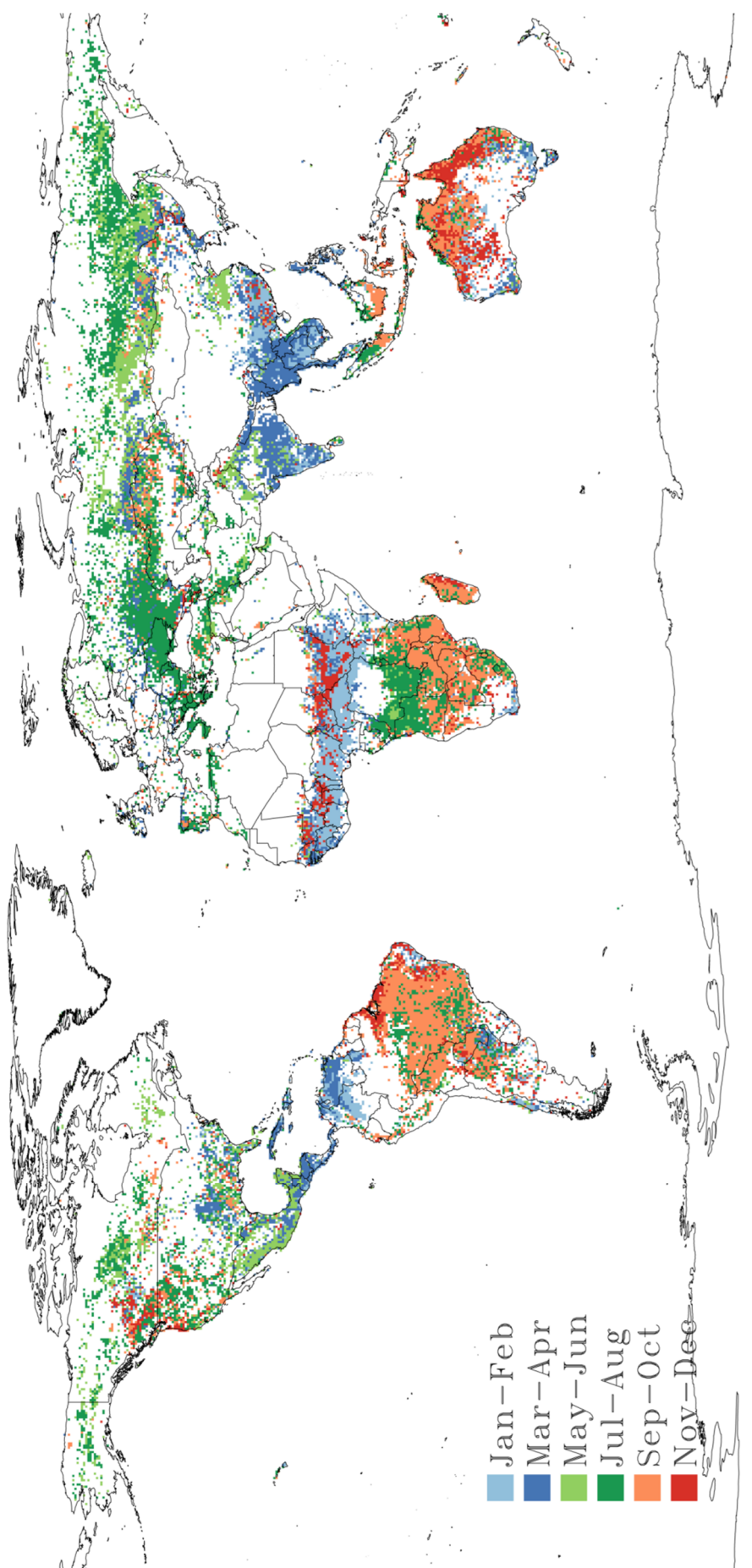
Na América do Norte, comparando com a Eurásia, a extensão e número de fogos é muito menor (Csiszar et al., 2005) e ocorrem preferencialmente entre Maio e Agosto. A maior parte dos grandes fogos nos Estados Unidos ocorrem na parte Oeste do território, embora seja também elevado o número de fogos na parte Este, essencialmente queimadas agrícolas.

Verifica-se que a maior parte dos fogos estão localizados nas regiões tropicais e subtropicais, ocupando uma área de cerca de 1500 milhões de ha de savanas e de 1400 milhões de ha de florestas (Andreae, 1991, 1997).



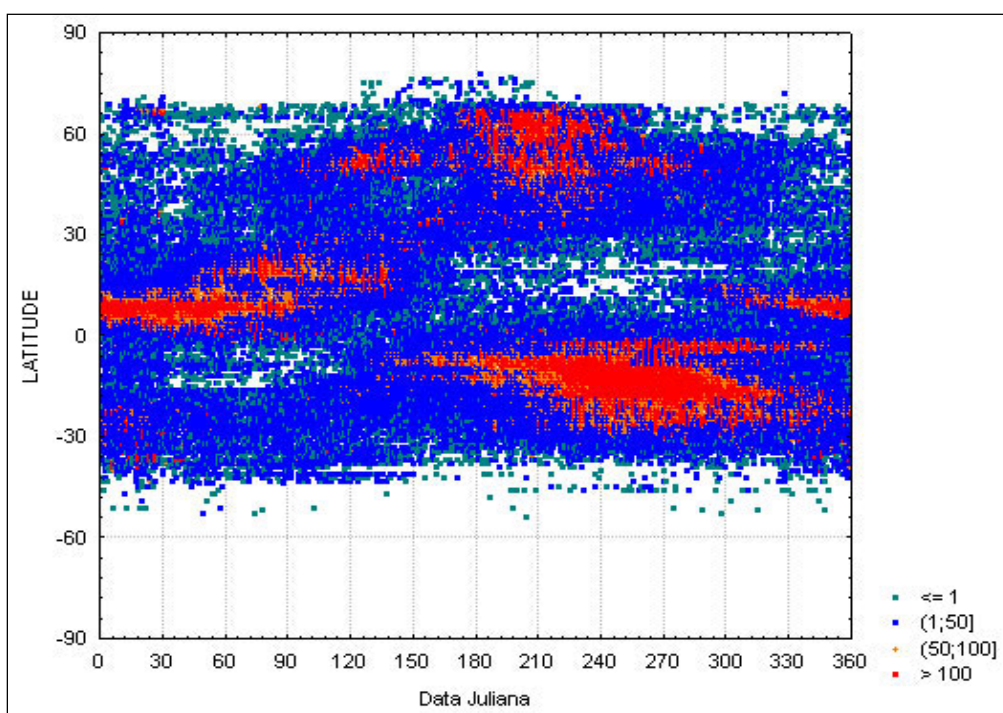
**Ilustração 16.** Contagens validadas do produto WFA.





**Figura 17.** Período bimensal com maior número de observações (1996- 2012).

Na figura 18 está representada numa escala de cores a sazonalidade da actividade do fogo por faixas de 1° de latitude, agregados por dia do ano e em datação juliana. Verifica-se um aglomerado muito grande nos meses entre Junho e Outubro (180 a 300 em datação juliana) em zonas de baixa latitude do hemisfério sul, que corresponde maioritariamente às savanas tropicais da América do Sul, do hemisfério sul de África e da Austrália. Outros aglomerados, mais pequenos são evidentes no período entre Junho e Agosto (180 a 240 em datação juliana) nas latitudes altas do hemisfério norte, que dizem respeito às zonas boreais da Ásia, Canadá e Alasca durante o final da Primavera e no Verão; e também entre Dezembro e Março (dias 330 a 90 do ano seguinte) na zona tropical do hemisfério norte de África.



**Figura 18.** Padrões latitudinais da actividade global do fogo. Número de contagens por faixa de 1° de latitude.

## 3.2. Diferenças nos dados

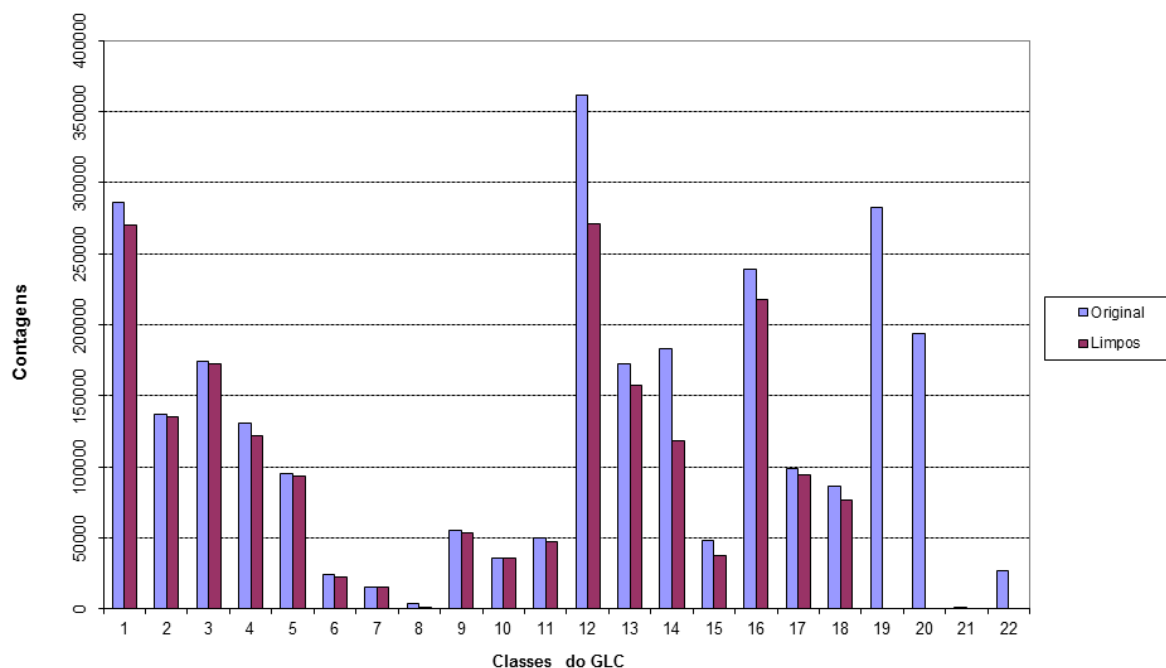
### 3.2.1. Origem dos falsos alarmes

Sabendo de antemão que a origem dos falsos alarmes é diversa, tal como descrito anteriormente, e concluído o processo de limpeza, foi feita uma análise de forma a detalhar a origem dos mesmos e a sua distribuição. Os filtros usados apresentam comportamentos distintos em relação ao número e distribuição geográfica dos registos removidos. O filtro com um comportamento mais significativo no processo de limpeza é sem dúvida o do GLC, responsável pela eliminação de cerca de 541.421 observações, correspondendo a cerca de

28.14% dos dados originais. As classes de “solo nu”, “água”, “artificial” e “neve” são classes que de imediato categorizam o registo como falso alarme, no entanto, registos que tenham ocorrido em zonas com uma classe de GLC plausível para um incêndio de vegetação poderão ter sido classificadas como falsos alarmes devido a outros filtros usados ou processos de edição posteriores. Esse facto encontra-se explícito na figura 19, que mostra a contagem original das observações (Original) distribuídas por classes do GLC e a correspondente contagem das observações depois de concluído o processo de edição (Limpos).

De todas as classes que compõem o GLC, aquela com maior expressão no número de observações filtradas foi a classe de “solo nu”, responsável pela remoção de cerca de 282.269 registos, contabilizando cerca de 10.45% do total das observações originais. Os restantes filtros não apresentam números tão significativos, sendo a classe “neve” a que apresenta menos registos removidos, com cerca de 995 observações, que correspondem a 0.04% do total dos registos originais. Os erros com origem em chamadas de gás provenientes de indústrias correspondem ao segundo maior grupo em relação a observações filtradas, com cerca de 250.929 observações, correspondendo a 9.29% dos registos originais. Regista-se uma grande diferença entre as observações classificadas como “artificiais” pelo GLC e o número total de observações classificadas como “chamadas de gás” resultado da edição manual. O número de observações na classe “artificial” é 64.545 enquanto o número de registos categorizados como “chamadas de gás” é 250.929 (quase quatro vezes maior que o anterior). Esta diferença significativa não seria muito expectável, dado que os principais locais de origem de falsos alarmes para “chamadas de gás” são zonas de exploração petrolífera. Essas zonas, com excepção das plataformas de exploração marítima, já se deviam encontrar devidamente cartografadas como “artificiais” na cartografia do GLC o que permitia uma mais expedita classificação dos mesmos como falsos alarmes. Os restantes erros, provenientes de vulcões, erros de aquisição e processamento de dados, apresentam um peso pouco significativo, com um número total de falsos alarmes de 32.321 e 56.781 respectivamente (figura 20).





**Ilustração 19.** Distribuição por classes do GLC das observações.

|                   | Cobertura do solo |               |             |              | Chamas de gás | Vulcões      | Aquisição    | Soma          |
|-------------------|-------------------|---------------|-------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|
|                   | Nu                | Água          | Neve        | Artificial   |               |              |              |               |
| <b>1996</b>       | 8809              | 4874          | 232         | 3244         | 9750          | 693          | 877          | <b>28479</b>  |
| <b>1997</b>       | 11334             | 10305         | 119         | 5721         | 17561         | 868          | 1293         | <b>47201</b>  |
| <b>1998</b>       | 25605             | 12146         | 139         | 6883         | 21578         | 1205         | 1685         | <b>69241</b>  |
| <b>1999</b>       | 14686             | 10173         | 3           | 6195         | 19447         | 846          | 184          | <b>51534</b>  |
| <b>2000</b>       | 11306             | 9220          | 11          | 5882         | 20383         | 1350         | 1227         | <b>49379</b>  |
| <b>2001</b>       | 11754             | 8723          | 80          | 4094         | 15893         | 1181         | 378          | <b>42103</b>  |
| <b>2002</b>       | 16190             | 8595          | 56          | 4635         | 13317         | 1297         | 1166         | <b>45256</b>  |
| <b>2003</b>       | 21228             | 6042          | 13          | 4664         | 11513         | 963          | 0            | <b>44423</b>  |
| <b>2004</b>       | 13784             | 45891         | 42          | 4640         | 14428         | 961          | 33068        | <b>112814</b> |
| <b>2005</b>       | 30046             | 20707         | 27          | 3294         | 15172         | 1554         | 12376        | <b>83176</b>  |
| <b>2006</b>       | 19390             | 13588         | 30          | 4049         | 15856         | 2086         | 2894         | <b>57893</b>  |
| <b>2007</b>       | 21317             | 6930          | 32          | 1895         | 14836         | 5363         | 0            | <b>50373</b>  |
| <b>2008</b>       | 13733             | 10293         | 34          | 2224         | 16497         | 1947         | 1488         | <b>46216</b>  |
| <b>2009</b>       | 23937             | 7988          | 10          | 1976         | 15864         | 6290         | 13           | <b>56078</b>  |
| <b>2010</b>       | 20665             | 9571          | 90          | 2603         | 14423         | 3525         | 44           | <b>50921</b>  |
| <b>2011</b>       | 17676             | 7803          | 76          | 2348         | 12893         | 1743         | 76           | <b>42615</b>  |
| <b>2012*</b>      | 809               | 763           | 1           | 198          | 1518          | 449          | 12           | <b>3750</b>   |
| <b>Soma</b>       | <b>282269</b>     | <b>193612</b> | <b>995</b>  | <b>64545</b> | <b>250929</b> | <b>32321</b> | <b>56781</b> | <b>881452</b> |
| <b>% do total</b> | <b>10.45</b>      | <b>7.17</b>   | <b>0.04</b> | <b>2.39</b>  | <b>9.29</b>   | <b>1.20</b>  | <b>2.10</b>  |               |

**Figura 20.** Número de observações classificadas por cada filtro.

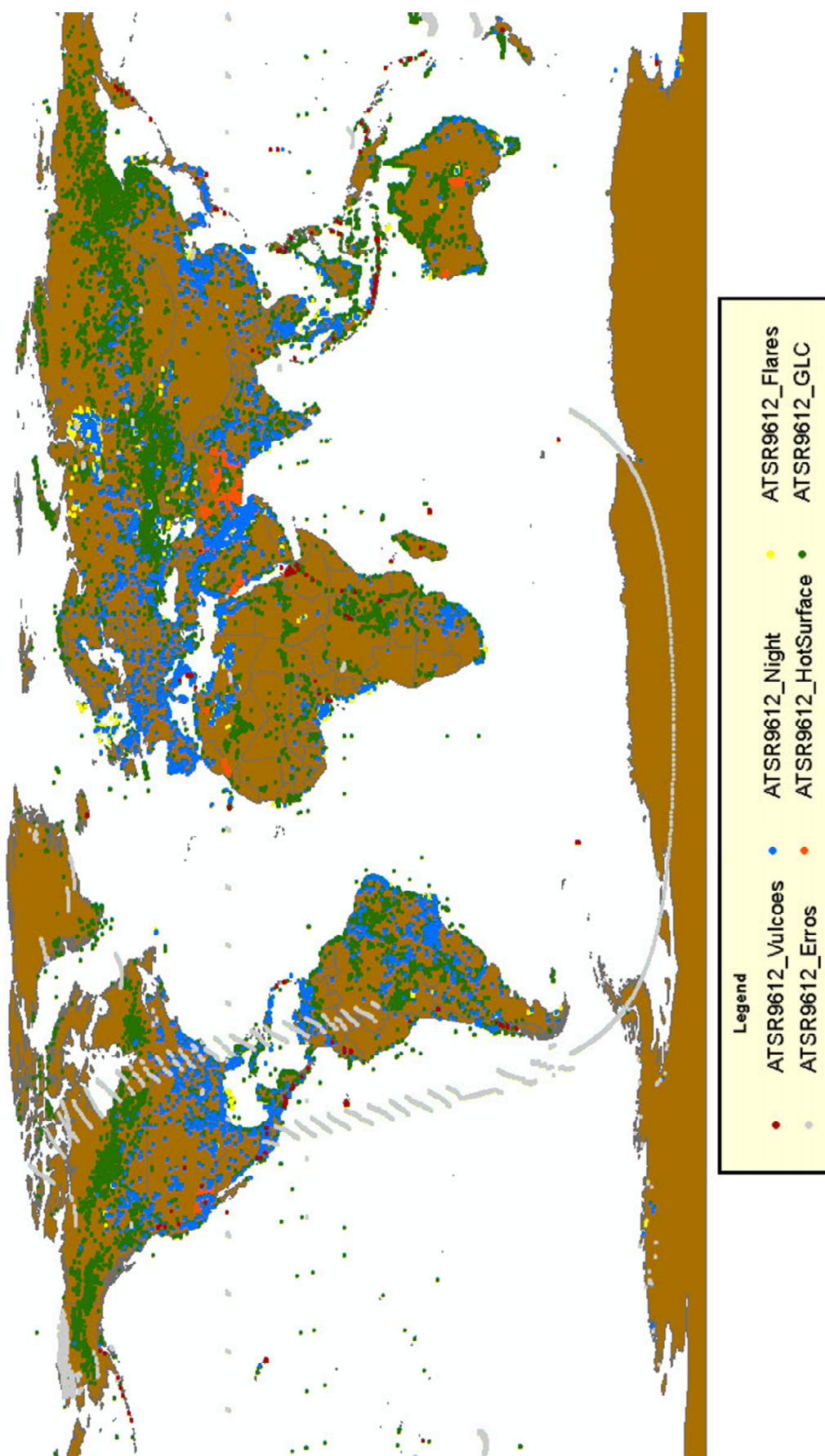
Pela análise da figura 20, é legítimo afirmar que o número de observações filtradas no processo provenientes de chamadas de gás foi permanecendo constante e seria de esperar que este número fosse diminuindo, pois tratando-se de locais de actividade de indústria constante que origina pontos de calor, poderiam ficar cartografadas como tal. Deve ser ainda chamado à atenção o facto de 2004 ter sido o ano com o maior número de observações provenientes de erros de aquisição/processamento. Os anos de 1998 e de 2005 são os que apresentam o maior número de falsos alarmes associados ao solo nu (superfícies quentes), facto esse justificado pelas altas temperaturas verificadas nesses anos, tendo os mesmos sido classificados como os mais quentes desde o final do século XIX segundo o Goddard Institute for Space Studies da NASA.

Analizando duas das figuras apresentadas (figura 11 e 20), é possível verificar que o número total de observações filtradas não coincide: 759.692 e 881.452 respectivamente. A razão pela qual a contagem é superior na figura 20 advém do facto de existirem observações que são classificadas por mais do que um filtro, logo na figura 20 a soma das observações filtradas inclui mais do que uma vez algumas das observações filtradas.

### **3.2.2. Distribuição geográfica dos falsos alarmes**

Tendo em conta a diferente natureza de cada filtro aplicado, foi feito um estudo sobre a localização geográfica de registos eliminados de acordo com o filtro usado. Como se pode ver na figura 21, os registos eliminados possuem uma distribuição geográfica mundial aproximadamente homogénea. Os erros de aquisição apresentam uma distribuição bastante errática, apresentando uma ligeira concentração nas zonas de altas latitudes do hemisfério norte, e também um número significativo de erros no Oceano Pacífico. De salientar que existe um grande número de erros, todos com origem no mesmo dia (12 de Agosto de 2008), que se estendem desde o Polo Sul até à América do Norte, sempre com um comportamento típico associado ao movimento do satélite. Erros provenientes de actividade vulcânica estão, obviamente, localizados em zonas muito específicas e apresentam distribuição global, com principal incidência no sudoeste asiático e África central.

Ocorre uma coincidência esperada dos falsos alarmes provenientes de luzes nocturnas com zonas de maior concentração populacional (figura 22) e, no caso de falsos alarmes provenientes de superfícies quentes, é notória a concentração dos registos nas zonas desérticas (figura 23). Outra fonte de erros com um peso significativo é a de erros provenientes de chamadas de gás (FLARES) que, como se pode ver na figura 24, apresentam uma distribuição obviamente coincidente com esse tipo de indústrias, com particular concentração de registos no Golfo Pérsico, norte da Rússia, Golfo da Guiné e no Mar do Norte.



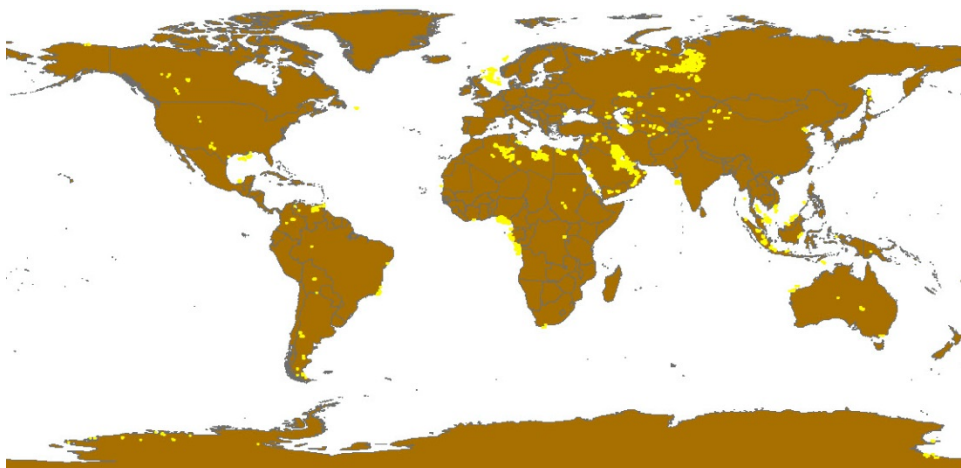
**Figura 21.** Distribuição geográfica dos registos eliminados.



**Figura 22.** Distribuição geográfica dos registos eliminados com origem em luzes nocturnas estáveis.



**Figura 23.** Distribuição geográfica dos falsos alarmes de superfícies quentes.



**Figura 24.** Distribuição geográfica dos registos eliminados com origem em chamas de gás.

Será legítimo afirmar que, apesar de todo o processo de limpeza realizado, algumas observações aceites como genuínas poderão, na realidade, não o ser. Tal acontece porque, poderá haver observações que, por ausência de concentração espacial ou temporal, ou por coincidência com locais perfeitamente plausíveis para ocorrência de incêndios, esses registos são aceites como válidos. No entanto, tendo em conta o volume de registos e a detalhada limpeza inicial dos dados, estes erros de admissão, deverão ser residuais e sem influência significativa nos resultados finais.

## **4. Análise de tendências**

### **4.1. Preparação dos dados**

Com os dados prontos para análise, estes foram agregados a nível global em células de 2°. Esta operação foi levada a cabo visto que esta resolução é aceitável para o estudo em questão e também porque assim, zonas com pequena concentração de registos que incluam várias células de meio grau, ficam agregadas na mesma célula, o que permite uma análise mais significativa das tendências presentes. Realizada a agregação dos dados, foi ainda necessário fazer uma correcção das contagens em cada pixel, em função da latitude do centro do mesmo, tendo-se aplicado um factor de correcção a todos os pixéis criados. Esta correcção é necessária tendo em conta a variação presente no tamanho da grelha latitude-longitude, que quando inscrita sobre uma superfície esférica apresenta meridianos com diferente afastamento. Os meridianos têm afastamento máximo sobre o equador e convergem para um ponto nos polos. A correcção foi feita aplicando a seguinte fórmula ao valor das observações correspondentes a cada pixel:  $\cos * \sqrt{Latitude}$ .

Os dados para análise fazem parte de uma série temporal de 183 mapas, com 90 linhas e 180 colunas. Assim, para cada mapa existem 16200 pixeis.

### **4.2. Teste de Mann-Kendall**

A análise de tendências foi feita usando o teste de Mann-Kendall, já com vasta utilização no campo da análise de séries temporais em estudos climatológicos, hidrológicos ou ambientais (Karmeshu, 2012). O período analisado foi, como referido, de Janeiro de 1996 a Março de 2012 totalizando assim 183 valores para cada pixel, sobre os quais foi feita a análise de tendências. Este tipo de teste apresenta duas vantagens principais: em primeiro lugar é um teste de hipóteses não paramétrico e é um teste baseado em amostras independentes. Este teste tem uma baixa sensibilidade a quebras abruptas de dados devidos a falhas nas séries temporais (Tabari et al. 2011) e tendo em conta esta é a realidade nos dados analisados, este teste é por isso especialmente recomendado para

analisar os mesmos. O teste de Mann-Kendall avalia se os valores dos registos têm tendência a aumentar ou diminuir no intervalo de tempo considerado, através de uma análise de tendência monotónica.

Esta análise tem por base um teste de hipóteses e como tal apresenta uma hipótese nula ( $H_0$ ) e uma hipótese alternativa ( $H_1$ ). A hipótese nula do teste assume que não existe tendência, ou seja, a informação é independente e distribuída de forma aleatória e é testada contra a hipótese alternativa que afirma que existe uma tendência (Onoz et al. 2012). O processo computacional deste teste decorre da seguinte forma: é considerada uma série de dados de  $n$  pontos e  $y_i$  e  $y_j$  que representam subconjuntos de informação, onde  $i=1,2,3,\dots,n-1$ , e  $j=i+1,\dots,n$ . A análise é feita com base na estatística  $S$ :

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(y_j - y_i)$$

Onde  $\text{sign}(y_j - y_i)$ , pode ser 1, 0 ou -1 se a diferença entre o valor em análise e o anterior for positiva, zero ou negativa, respectivamente. A informação é avaliada como uma série temporal ordenada sendo cada valor comparado com todos os restantes. Se o valor correspondente a um período mais avançado no intervalo considerado for superior ao valor que o antecede, então a estatística  $S$  é incrementada em uma unidade. Se, por outro lado, o valor for inferior, a estatística  $S$  sofre um decréscimo de um valor. O produto final dos incrementos e decrementos origina o valor final da estatística  $S$  (Drapela et al. 2011). Obtido o valor de  $S$ , caso este seja um valor positivo elevado, indica que os valores têm tendência a aumentar ao longo do período considerado, logo é identificada uma tendência positiva. Se pelo contrário,  $S$  apresentar um valor negativo elevado, os valores têm tendência a decrescer ao longo do período considerado logo, é identificada uma tendência negativa. Posteriormente, é ainda calculado o valor da estatística tau ( $\tau$ ), independente do valor de  $S$ , no sentido de ser apresentado entre -1 e 1:

$$\tau = \frac{S}{n(n-1)/2}$$

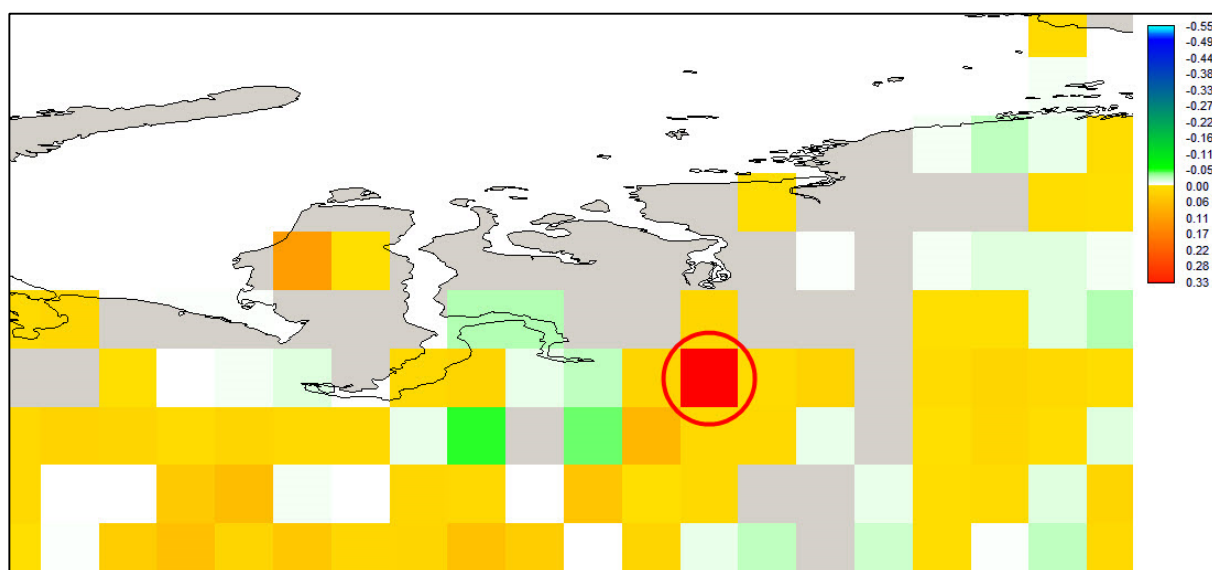
Cada pixel é considerado uma variável, logo todo o processo descrito anteriormente foi levado a cabo para cada pixel considerando os 183 valores disponíveis para cada.

Na análise de uma série temporal, antes de testar a existência de tendências deve-se considerar a auto-correlação temporal, definida como a correlação da variável com ela própria sobre sucessivos intervalos de tempo. A existência de auto-correlação, aumenta significativamente as possibilidades de detecção, com o teste de Mann-Kendall, da

existência de uma tendência quando na verdade ela pode não existir, ou seja, aumenta a probabilidade de cometer erros do tipo II: rejeitar incorrectamente uma hipótese nula que é verdadeira. Assim, de modo a ter isto em conta, Hamed and Rao (1998) sugeriu um teste modificado de Mann-Kendall (usado neste estudo), que calcula a auto-correlação existente nos dados, antes de aplicar o estudo da existência de uma tendência (Sinha T., Cherkauer K., 2008).

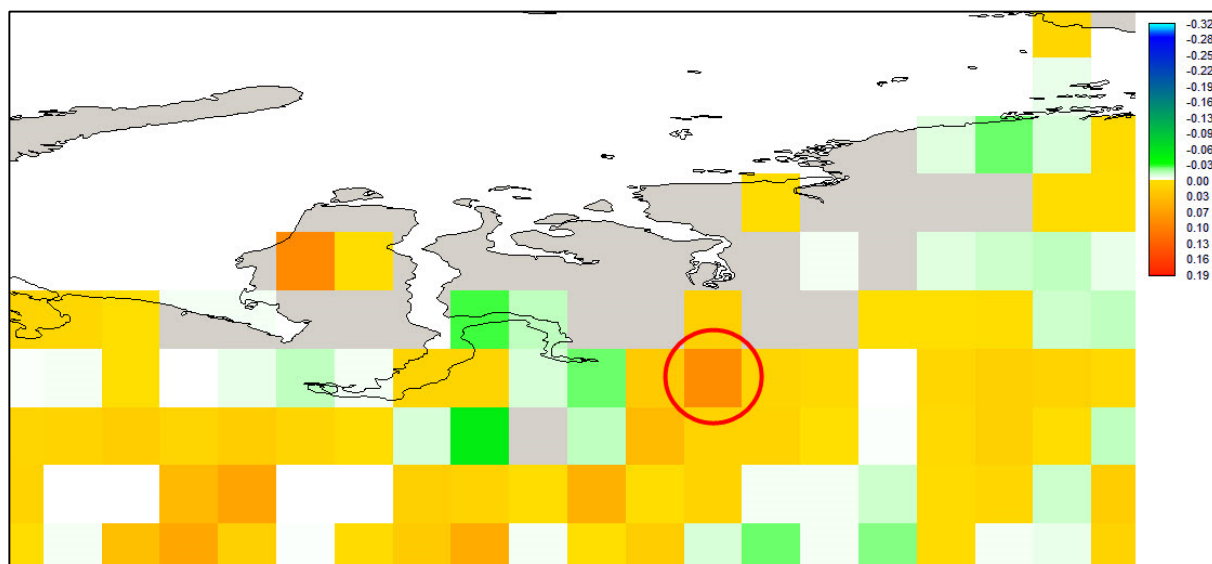
#### 4.3. Estudo de tendências

Foi possível constatar que valores que, numa primeira análise de tendências, se poderiam destacar como tendo uma tendência fortemente positiva, eram na verdade resultado deste fenómeno, pois após a realização do teste Durbin-Watson e depois de realizada uma nova análise de tendências, esses valores apresentaram agora números muito inferiores aos anteriores. Um exemplo claro deste comportamento foi a zona do norte da Rússia, na qual se verificava inicialmente uma zona com uma aparente tendência positiva acentuada (pixel assinalado na figura 25), apresentando o valor mais elevado de estatística  $\tau$  a nível global: 0.33. No entanto, após o teste Durbin-Watson e cálculo dos novos valores, é possível verificar que essa tendência positiva era na verdade artificial, apresentando agora o mesmo pixel um valor de 0.08 de estatística  $\tau$  (pixel assinalado na figura 26). Neste caso, este comportamento tem origem no facto de que nos dados originais esta zona apresentava uma grande concentração de valores nos últimos anos do intervalo considerado, provenientes da indústria de exploração petrolífera que passaram como observações válidas aquando do processo de edição dos dados.



**Figura 25.** Valores da estatística  $\tau$  sem avaliar a correlação dos dados.



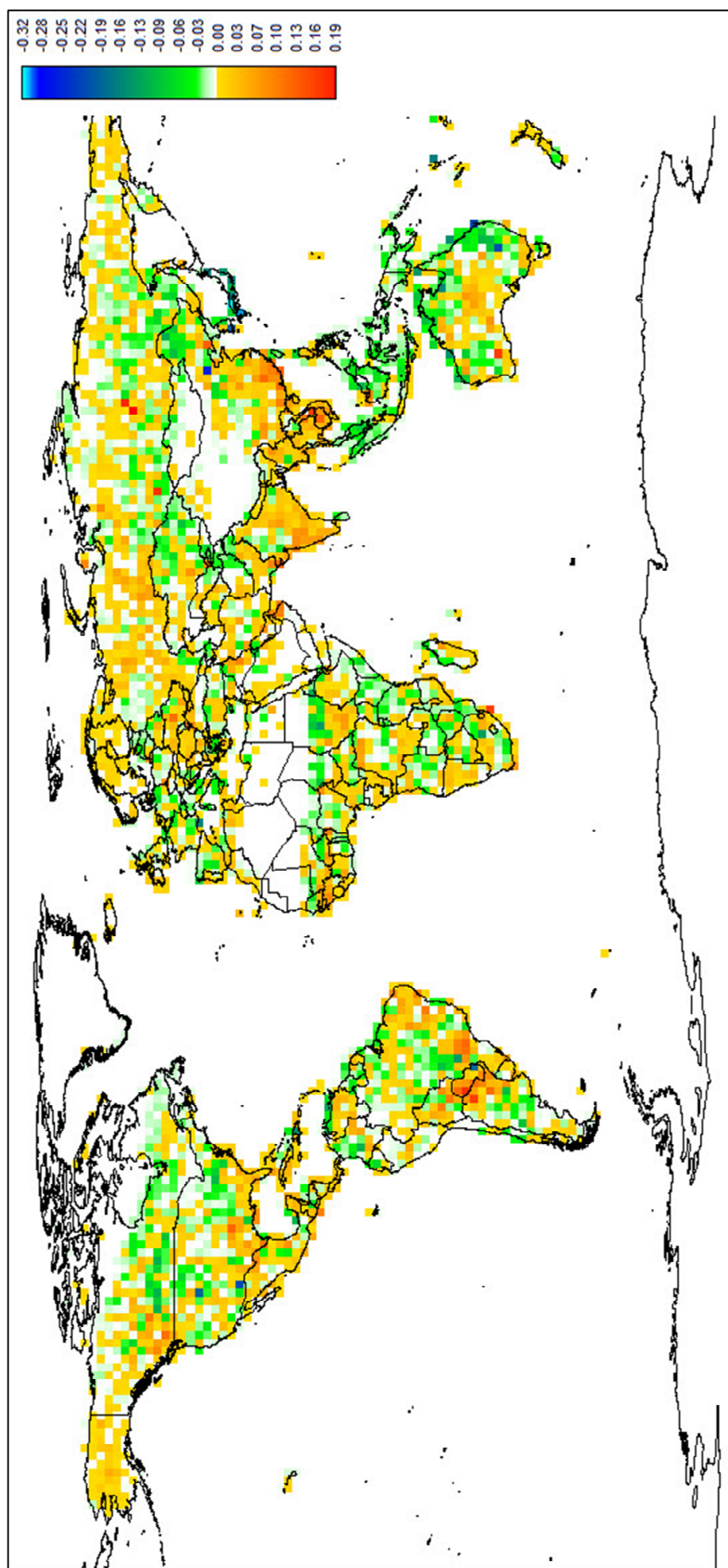


**Figura 26.** Valores da estatística  $\tau$  depois de avaliar a correlação dos dados.

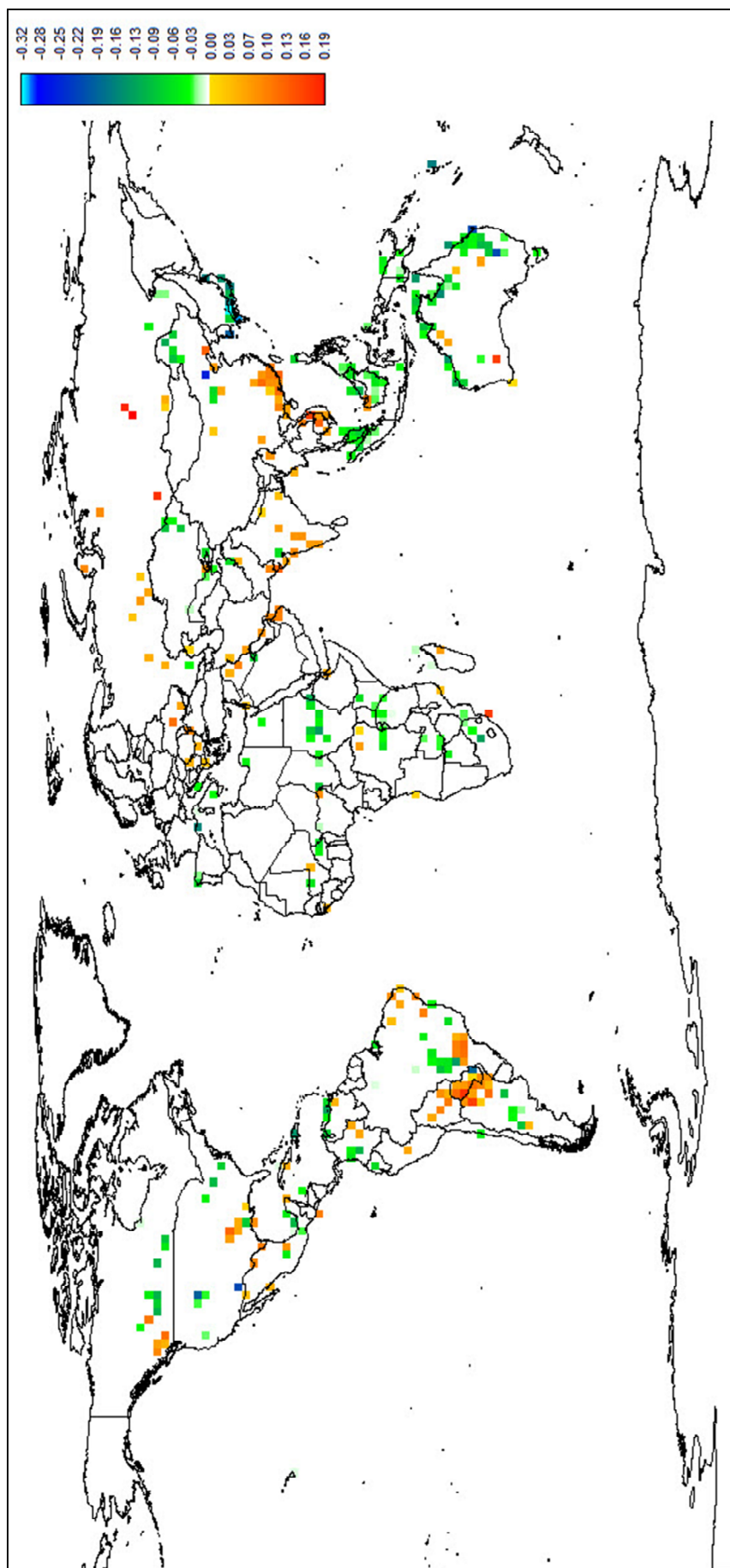
Após a realização do teste Durbin-Watson verificou-se uma diminuição nos valores da estatística  $\tau$  para a grande maioria dos pixels, tendo-se obtido assim um mapa global com os valores do teste Mann-Kendall (figura 27). No entanto, e tratando-se de um teste de hipóteses, foi aplicada sobre a cartografia obtida do teste de Mann-Kendall uma máscara de significância. Tendo em conta os dados obtidos, determinaram-se as zonas de significância a 95% (figura 28). Pela análise do mapa é possível constatar que grande parte da superfície global não apresenta uma tendência significativa, o leva a assumir que não existem tendências globais significativas nos dados analisados (conclusão idêntica à de outros autores que realizaram estudos semelhantes a nível global (Arino et al., 2011)).

Analisando o mapa com as áreas validadas pela máscara de significância, é possível constatar a existência de pequenas áreas com uma concentração de pixels válidos que evidenciam tendências, sejam elas positivas ou negativas. No entanto, após uma detalhada análise destas zonas, verifica-se que em grande parte, estas zonas devem-se a uma distribuição muito heterogênea das observações ao longo do período de tempo considerado, ou seja, são locais que não apresentam registos regularmente ao longo do período estudado e que ao longo desse período possuem uma tendência positiva ou negativa, o que acontece é que nestes locais passam-se longos períodos sem quaisquer registos e ocasionalmente regista-se um pico de ocorrências.



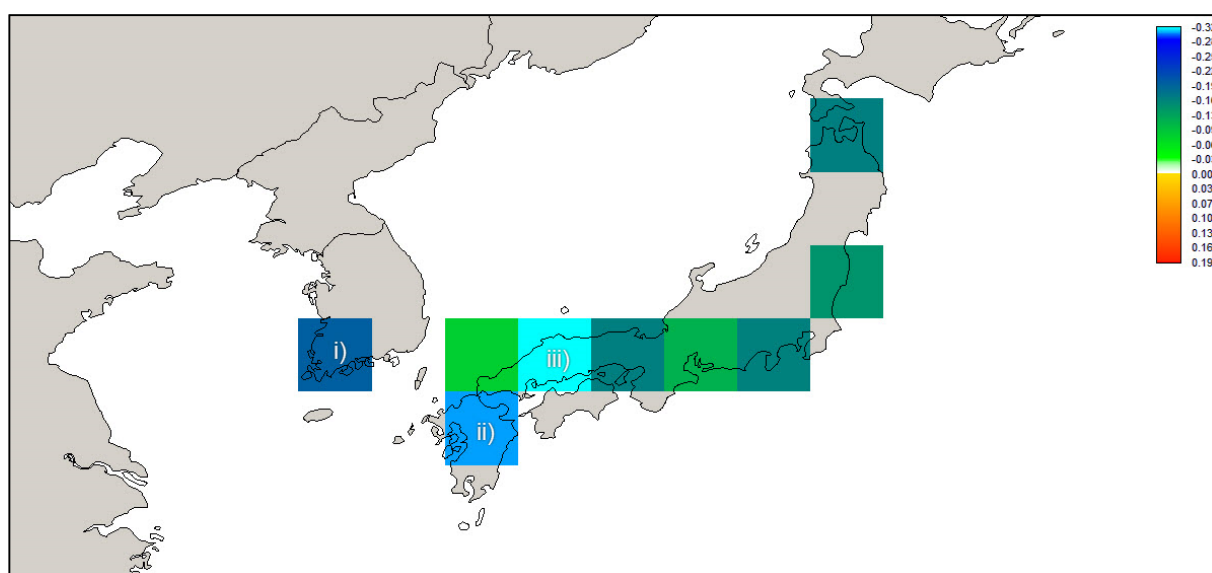


**Figura 27.** Valores do teste Mann-Kendall.

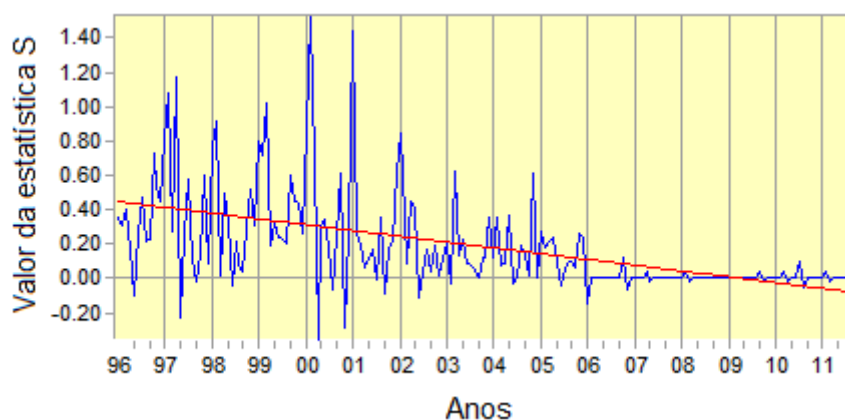


**Ilustração 28.** Valores de teste Mann-Kendall a uma significância de 95%.

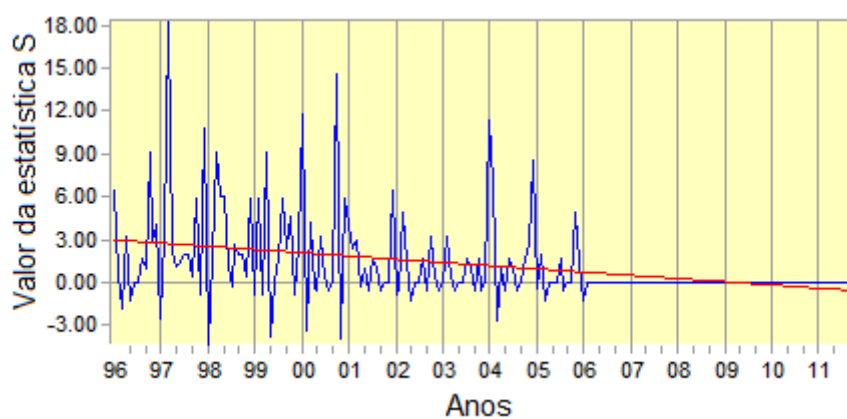
No Japão e no extremo Sul da península da Coreia é encontra-se evidente uma marcada tendência decrescente, tal como se pode ver na cartografia gerada pelo teste de Mann-Kendall (figura 29) e pela análise do perfil temporal dos valores da estatística S para o mesmo local (figura 30). Após um estudo mais detalhado do local e das razões para a tendência, concluiu-se que esta tendência teve origem no facto de que, a partir do ano de 2006 não se registaram observações neste local. Uma quebra tão abrupta de dados poderia ser consequência de um processo de edição mais detalhado para este local a partir do ano de 2006, tendo em conta que este estudo utilizou dados já previamente editados precisamente até esse ano tendo sido realizada a edição de dados de 2006 a 2012. No entanto, analisando os dados originais dos anos de 2006 em diante, é possível constatar que esta zona não apresenta efectivamente observações, ou se apresenta, são em número muito pequenos quando comparados com os anos anteriores a 2006 (figura 31 i-iii)



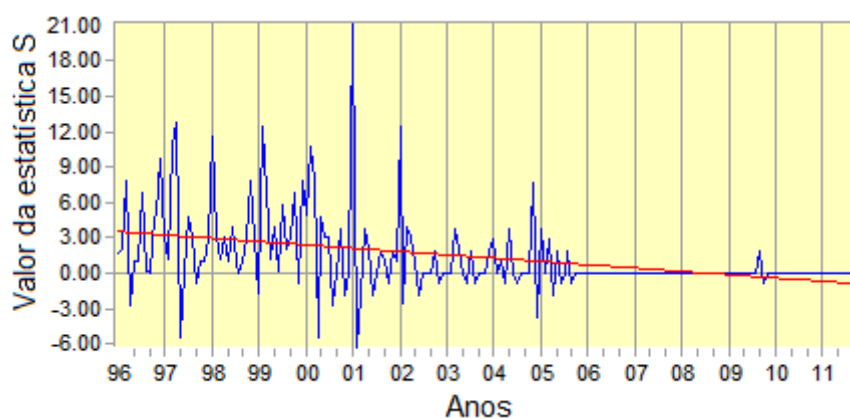
**Figura 29.** Valor do teste Mann-Kendall para a região do Japão.



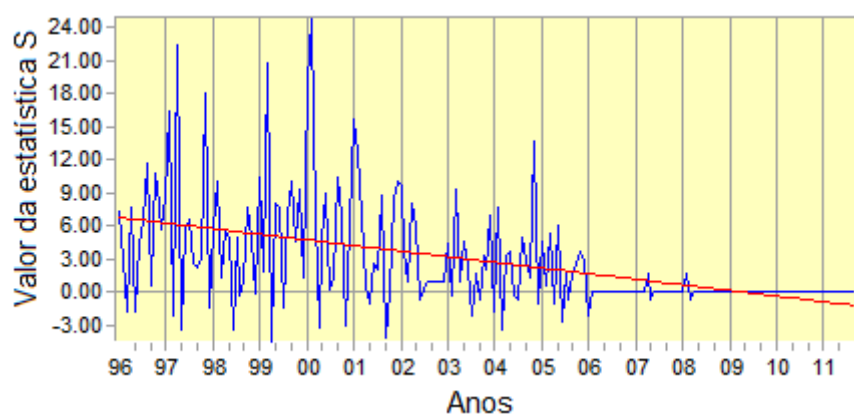
**Figura 30.** Valor da estatística S ao longo do período considerado (linhas azuis) e tendência linear (linha a vermelho) para a região do Japão.



i)



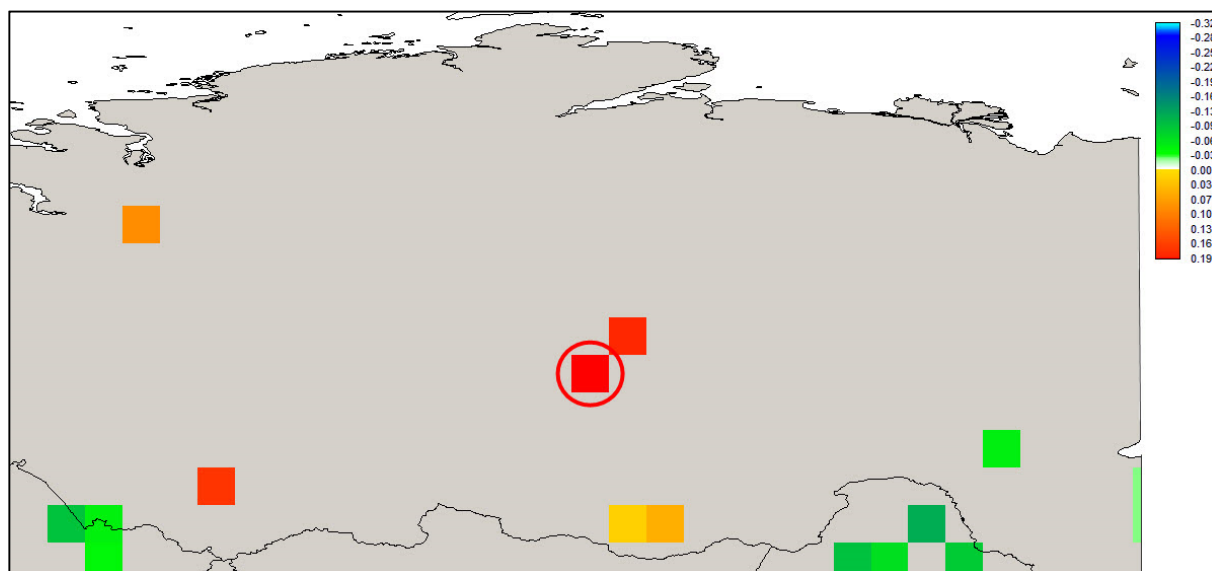
ii)



iii)

**Figura 31.** Valor da estatística S ao longo do período considerado (linhas azuis) e tendência linear (linha a vermelho) para i) Gwangju - Coreia do Sul; ii) ) Kumamoto- Japão e iii) Hiroshima - Japão). A localização destas tendências encontra-se na figura 29).

No extremo oposto à situação analisada anteriormente, os valores mais elevados originados pelo teste de Mann-Kendall verificaram-se no meio da Rússia (figura 32). Após uma análise detalhada do local foi possível concluir que estes valores são algo “artificiais” pois não correspondem a uma forte tendência positiva contínua presente no local. Para os pixéis apresentados a vermelho, que apresentam valores muito próximo do máximo (sendo um deles mesmo o máximo verificado), a distribuição de observações ao longo do período de estudo é, mais uma vez, muito heterogênea, apresentando-se quase todo o período sem registos, apresentando dois picos muito elevados de registos e uma pequena concentração de observações nos últimos anos, o que tendo em conta a falta de registos nos restantes anos, enviesa o resultado final da análise de tendência (figura 33).

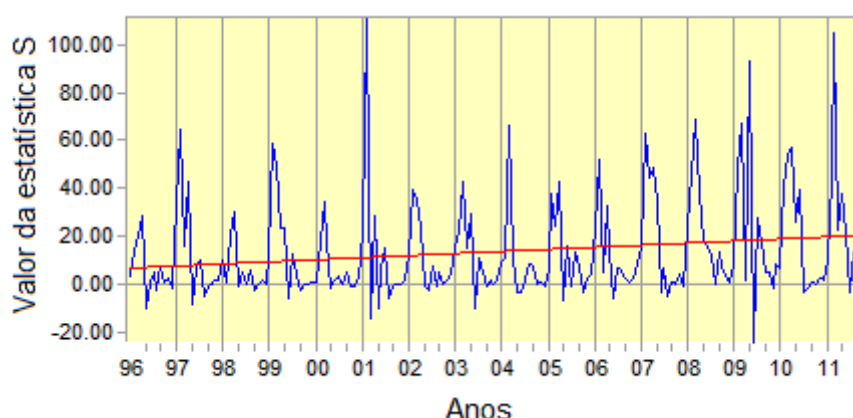


**Figura 32.** Valor do teste Mann-Kendall para a Rússia.

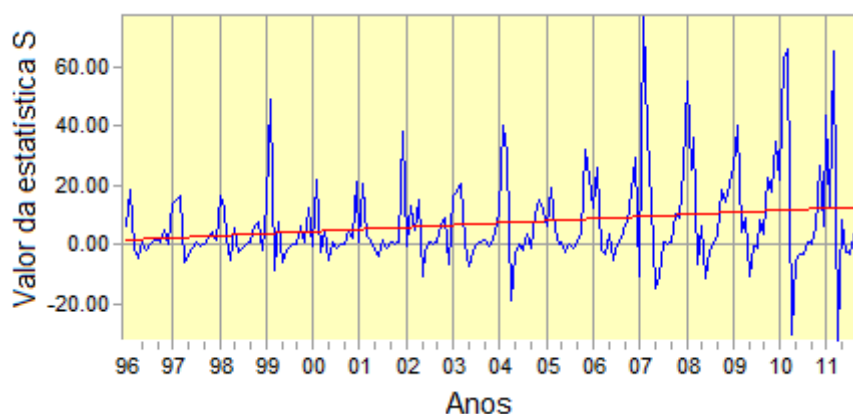


**Figura 33.** Valor da estatística S ao longo do período considerado (linhas azuis) e tendência linear (linha a vermelho) para o pixel com maior valor do teste Mann-Kendall assinalado na figura 32.

Analizados os casos que apresentavam comportamentos anormais, foram então estudadas as zonas que evidenciem alguma tendência significativa dentro da gama de valores obtidos. Foram analisados os perfis de locais de interesse. Na América do Sul verificou-se uma ligeira tendência positiva. Tal facto foi confirmado pela análise dos perfis temporais das zonas em questão: Paraguai (figura 34) e sul do Brasil (figura 35). Ambos os perfis apresentam uma distribuição regular de registos durante o período considerado, bem como uma marcada sazonalidade, indicando que a ligeira tendência positiva identificada é uma tendência genuína.

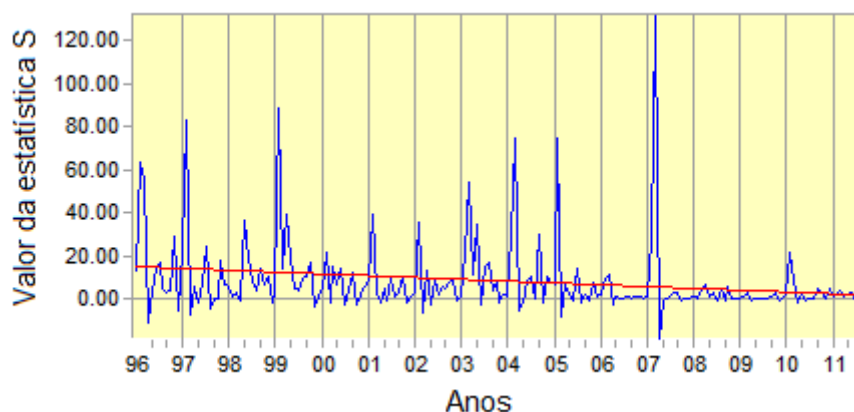


**Figura 34.** Valor da estatística S ao longo do período considerado (linhas azuis) e tendência linear (linha a vermelho) para o Paraguai.



**Figura 35.** Valor da estatística S ao longo do período considerado (linhas azuis) e tendência linear (linha a vermelho) para o sul do Brasil.

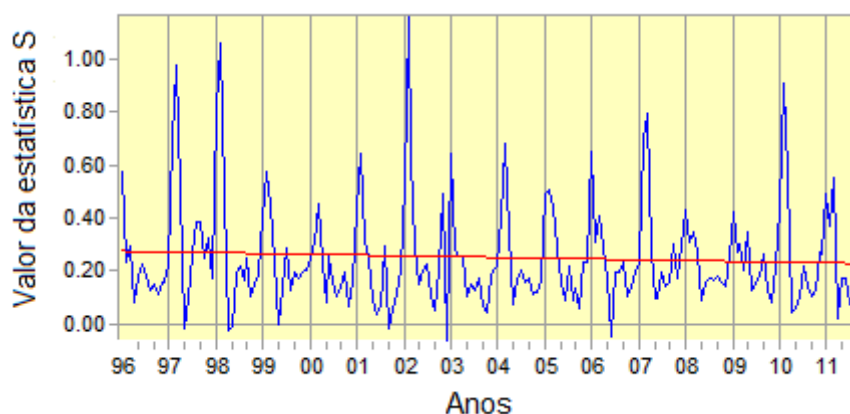
É interessante verificar que, entre as duas zonas anteriormente consideradas, verifica-se um local no Este do Paraguai, coincidente com a localização do Lago Itaipu, em cujas redondezas se verificou uma diminuição de registos. Assim, assinala-se uma tendência ligeiramente negativa, mais uma vez validada pela análise do seu perfil temporal (figura 36).



**Figura 36.** Valor da estatística S ao longo do período considerado (linhas azuis) e tendência linear (linha a vermelho) para o Este do Paraguai.

As restantes áreas com tendência significativa, para o nível de significância adoptado, foram analisadas, tendo apresentado o mesmo comportamento dos exemplos já expostos anteriormente indicando que, salvo os exemplos apresentados nas figuras 29 e 32, a cartografia obtida apresenta locais com tendências válidas embora muito ligeiras.

A nível global, avaliou-se a existência de tendências ao realizar uma análise do perfil temporal da média da estatística S para todos os pixéis, ou seja, foram seleccionados todos os pixéis e o perfil apresentado evidencia o valor da média para cada dia da estatística S a nível global (figura 37).



**Figura 37.** Valor da estatística S ao longo do período considerado (linhas azuis) e tendência linear (linha a vermelho) a nível global.

Tal como esperado, fica evidente a sazonalidade, sendo a principal época de fogos na primeira metade do ano. Apesar de no gráfico ser possível identificar uma muito ligeira tendência decrescente na curva da tendência linear, pela análise da cartografia obtida é legítimo afirmar que não é possível identificar nenhuma tendência significativa a uma escala



global. É sim possível identificar algumas zonas a escala mais pequena que apresentam uma ligeira tendência, positiva ou negativa, estatisticamente significativa.

## **5. Discussão de resultados**

O objectivo inicial desta dissertação foi atingido, com a criação de cartografia (limpa de falsos alarmes) de tendências estatisticamente válidas de incêndios de vegetação. Tal como em Mota et al., (2006), constatou-se que a aplicação da metodologia de limpeza de dados pela utilização de máscaras sistemáticas, originou uma filtragem de grande parte das observações embora, no entanto, tenha ficado evidente que este processo revela-se incapaz de filtrar um número ainda algo elevado de falsos alarmes localizados principalmente na zona do Médio Oriente durante os meses de Verão Boreal. A filtragem deste tipo de observações foi então realizada manualmente, com uma análise cuidada da cartografia obtida, tendo-se estudado a sua concentração tanto no espaço como no tempo. Poderão ainda existir algumas observações que, devido à sua distribuição errática tanto geográfica como temporalmente tenham sido validados como registos reais, sem na verdade o serem. No entanto estes valores não deverão ser em quantidade significativa para influenciar os resultados. Pode-se então concluir que a base de dados usada é bastante mais robusta e fiável do que a original.

O teste Mann-Kendall foi usado por ser uma ferramenta de análise de tendências já com vasta utilização e por proporcionar uma expedita análise dos dados. Verificou-se que de um modo geral, tendo por base os dados disponíveis, que não é possível detectar nenhuma tendência significativa para a vasta maioria do território a nível global, existindo apenas pequenos locais nos quais se registam ligeiras tendências, sendo que algumas destas foram posteriormente justificadas devido à representação desigual dos dados ao longo do período considerado. Apesar de terem sido analisados 15 anos completos, os resultados obtidos bem como a ausência de tendências significativas, mostra que para um estudo conclusivo sobre este tema, requerer-se um maior intervalo de tempo para análise. Esta falha está a ser colmatada com a análise dos primeiros 5 anos de funcionamento da missão ATSR-1 (1991-1996) ao analisar as radiâncias no infravermelho curto, o que deve adicionar mais 4 anos aos dados disponíveis (Arino et al., 2011). Para a recolha de dados no período para lá do final do funcionamento do programa usado nesta tese, a agência espacial europeia está a preparar uma missão, com lançamento previsto em 2014, do satélite Sentinel-3 que levará a bordo o Land Surface Temperature (LST). Este sensor efectuará medições de um modo semelhante ao AATSR apresentando uma maior correcção atmosférica, efectuando as suas medições em nove canais espectrais e em duas bandas adicionais optimizadas para detecção de fogos ([http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/)



Sentinel-3). Esta missão permitirá obter informações para um maior intervalo de tempo, o que para estudos futuros permitirá efectuar os mesmos sobre uma base de dados mais sólida e consistente, tendo em conta que quanto maior for o intervalo de tempo analisado, mais consistente será a análise de tendências.

Assim esta dissertação, conjugando a limpeza do produto WFA com a caracterização global de tendências de fogos de vegetação, contribui para um maior conhecimento do problema em questão permitindo, com o auxílio de dados de detecção remota (fogos activos), melhor caracterizar a geografia e dinâmica do fogo a uma escala global. Tal como trabalhos anteriores que realizaram análises semelhantes com base em processos de limpeza iguais ao usado nesta dissertação (Oom et al., 2006), esta análise pode ser usado como uma ferramenta importante em estudos de estimativas de emissões baseadas em fogos activos e parâmetros de sazonalidade (Shultz, 2002; Duncan et al., 2003; van der Werf et al., 2003; Generoso et al., 2003; Streets et al., 2003; Ito & Penner, 2004). Os resultados obtidos, permitem portanto uma melhor compreensão da complexidade do fenómeno fogo e das suas diversas tipologias à escala global. No seguimento deste e de outros estudos semelhantes, será de todo o interesse aumentar e melhorar a base de dados de fogos activos, bem como melhorar o processo de filtragem sistemática por máscaras

## 6. Referências Bibliográficas

Andreae, M. O., 1991. Biomass burning: Its history, use and distribution and its impact on environmental quality and global climate. In *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climate, and Biospheric Implications*, J. S Levine (ed), MIT Press, Cambridge, Mass., p. 3- 21.

Andreae, M. O., 1997. Emissions of trace gases and aerosols from southern African savanna fires. In *Fire in Southern African Savannas: Ecological and Atmospheric Perspectives*, B. W. van Wilgen et al.(ed), p. 161– 184, Witwatersrand Univ. Press, Johannesburg, South Africa.

Aragão, L. E., & Shimabukuro, Y. E. (2010). The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD. *Science*, 328(5983), 1275-1278.

Arino, O. & Rosaz, J. M., 1999. 1997 and 1998 World ATSR Fire Atlas using ERS-2 ATSR-2 data. Proceedings of the Joint Fire Science Conference (Boise, Idaho:University of Idaho and the International Association of Wildland Fire), 177 – 182,

Arino, O. & Plummer, S., 2001. The Along Track Scanning Radiometer World Fire Atlas – Detection of night-time fire activity, IGBP-DIS Working Paper #23. Potsdam,Germany.

Arino, O. & Plummer, S., Defrenne, D. 2005. Fire disturbance: the ten years time series of the ATSR World Fire Atlas. Proceedings of the MERIS-AATSR Workshop 2005, September, Frascati, Italy.

Arino, O., Casadio, S., & Serpe, D. 2012. Global night-time fire season timing and fire count trends using the ATSR instrument series. *Remote Sensing of Environment*, 116, 226-238.

Barbosa, R., Fearnside, P.M., 2004. Fire frequency and área burned in the Roraima savannas of Brazilian Amazônia. *Forest ecology and Management*, 204, p. 371-384.

Barbosa, P. M., Stroppiana, D., Grégoire, J-M., Pereira, J. M. C., 1999. An assessment of vegetation fire in Africa (1981-1991): Burned areas, burned biomass, and atmospheric emissions. *Global Biogeochemical Cycles*, Vol 13, p. 933-950.

Boschetti, L., Eva, H., Brivio, P. A., Grégoire, J. M., 2004. Lessons to be learned from the comparison of three satellite-derived biomass burning products. *Geophys. Res. Letters*, Vol 31 p.1-4.

Cahoon Jr, D. R., Stocks, B. J., Levine, J. S., Cofer III, W. R., Pierson, J. M., 1994. Satellite analysis of the severe 1987 forest fires in northern China and southeastern Sibéria. *J. Geophys. Res.*, Vol 99 ,N D9, p. 18627-18638.

Carmona-Moreno., C., Belward., A., Malingreau, J., Hartley, A., Garcia-Alegre, M., Abtonovskiy, M., Buchshtabers, V., Pivovarov, V., 2005. Characterizing interannual variations in global fire calendar using data from Earth observing satellites. *Global Change Biology*, 11, p. 1537-1555.

Crutzen, P. J., & Goldammer, J. G., 1993. *Fire in the environment: the ecological, atmospheric, and climate importance of vegetation fires*. Chichester: Wiley.

Csiszar, I., Denis., L., Giglio, L., Justice, C. O., Hewson, J., 2005. Global fire activity from two years of MODIS data. *International Journal of Wildland Fire*, 14, p.117-130.

Defrenne, D., Arino, O., Plummer, S.E., 2005. Calibration and Filtering of ATSR-2 and AATSR World Fire Atlas data, Proceedings of the MERIS-AATSR Workshop 2005, September, Frascati, Italy.

Drápela, K., & Drápelová, I. (2011). Application of Mann-Kendall test and the Sen's slope estimates for trend detection in deposition data from Bílý Kříž (Beskydy Mts., the Czech Republic) 1997–2010. *Časopis Beskydy*, 4.

Duncan, B. N., Martin, R. V., Staudt, A. C., Yevich, R., Logan, J. A., 2003. Interannual and seasonal variability of biomass burning emissions constrained by satellite observations, *J. Geophys. Res. – Atmos.*, 108 (D2).

Dwyer, E., J Pereira, J.M.C., Grégoire J.-M., DaCamara, C. C., 2000a. Characterization of the spatio-temporal patterns of global fire activity using satellite imagery for the period April 1992 to March 1993. *Journal of Biogeogr.*, 27, 57 – 69.

Dwyer, E., Pinnock, S., Grégoire, J. M. and Pereira, J. M. C., 2000b. Global spatial and temporal distribution of vegetation fire as determined from satellite observations, *Int. J. Remote Sens. Environ.*, 21, 1289 – 1302.

Eastman, R. (2009). Idrisi Taiga, Guide to GIS and Image Processing, manual version 16.02. *Clark University*, 342.

Friedl, M.A., McIver, D.K., Hodges, J.C.F., Zhang, X.Y., Muchoney, D., Strahler, A.H., Woodcock, C.E., Gopal, S., Schneider, A., Cooper, A., Baccini, A., Gao, F., Schaaf, C., 2002. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results, *Remote Sens. Environ.*, 83 (1 – 2), p. 287 – 302.

Fritz, S., Bartholomé, E., Belward, A., Hartley, A., Stibig, H.-J., Eva, H., Mayaux, P., Bartalev, S., Latifovic, R., Kolmert, S., Roy, P. S., Agrawal, S., Bingfang, W., Wenting, X., Ledwith, M., Pekel, J.-F., Giri, C., Mùcher, S., de Badts, E., Tateishi, R., Champeaux, J.-L., Defourny, P., 2003. Harmonisation, mosaicing and production of the Global Land Cover 2000 database (Beta Version), European Commission, DG-JRC, EUR 20849 EN.

Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C.O., Kaufman, Y., 2003a. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 87, p. 273 – 282.

Giglio, L., Kendall, J.D., 2003b. A multi-year active fire dataset for the tropics derived from the TRMM VIRS. *International Journal of Remote Sensing*, 24, p. 4505-4525.

Giglio L., van der Werf, G. R., Randerson, Collatz., G. J., Kasibhatla., P., 2006b. Global estimation of burned area using MODIS active fire observations. *Atmos. Chem. Phys.*, 6, p. 957-974.

Ito, A., and Penner, J.E., 2004. Global estimates of biomass burning emissions based on satellite imagery for the year 2000, *J. Geophys. Res.–Atmos.*, 109, D14S05, doi:10.1029/2003JD004423.

Jönsson, P., Eklundh, L., 2002. Seasonality extraction and noise removal by function fitting to time-series of satellite sensor data. *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing* 40, p. 824 – 1832.

Jönsson, P., Eklundh, L., 2004. TIMESAT – A program for analysing time-series of satellite sensor data. *Computer & Geosciences* 30, p.833-845.

Justice, C.O., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J.T., Roy, D., Descloitres, J., Alleaume, S., Petitcolin, F., Kaufman, Y., 2002. The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, 83, p. 244 – 262.

Karmeshu, N. (2012). Trend Detection in Annual Temperature & Precipitation using the Mann Kendall Test—A Case Study to Assess Climate Change on Select States in the Northeastern United States.

Kasischke, E.S., Hewson, J.H., Stocks, B., van der Werf, G., Randerson, J., 2003. The use of ATSR active fire counts for estimating relative patterns of biomass burning – a study from the boreal forest region, *Geophys. Research. Letter.* 30 (18).

Le Page, Y., Pereira, J. M. C., Trigo, R., Da Câmara, C., Oom, D., Mota, B., 2007. Global fire activity patterns (1996-2006) and climatic influence: an analysis using the World fire Atlas. *Atmos. Chem. Phys. Discuss*, 7, p. 17299-17338.

Mota, B. W., Pereira, J. M. C., Oom, D. Vasconcelos, M. J. P., Schultz, M., 2005. Screening the ESA ATSR-2 World Fire Atlas (1997 – 2002), *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6, p. 1409-1424.

Oom, D., & Pereira, J. M. C. (2012). Exploratory spatial data analysis of global MODIS active fire data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*.

Pereira, J. M. C., 2003. Remote sensing of burned areas in tropical savannas. *International Journal Wildland Fire*, 12, p. 259-270.

Pereira., J. M. C., Mota., B., Privette., J. L., Caylor, K., Silva., J. M. N., Sá, A. C. L., Ni-Mesiter, W., 2004. A simulation analysis of the detectability of understory burns in miombo woodlands. *Remote sensing of Environment*, 93, p. 296-310.

Riaño, D., Moreno-Ruiz, J. A., Isidoros, D., Ustin, S. L., 2007. Global spatial patterns and temporal trends of burned area between 1981 and 2000 using NOAA-NASA Pathfinder. *Global Change Biology*, 13, p. 40-50.

Roy, D. P., Boschetti, L., Smith, A., & Belcher, C. M. Satellite Remote Sensing of Fires. *Fire Phenomena and the Earth System: An Interdisciplinary Guide to Fire Science*, 77-93.

Simon, M., S. Plummer, F. Fierens, J. J. Hoelzemann, Arino., O., 2004a. Burnt area detection at global scale using ATSR-2: The GLOBSCAR products and their qualification, *Journal of . Geophysical Research*, vol 109.

Sinha, T., & Cherkauer, K. A. (2008). Time series analysis of soil freeze and thaw processes in Indiana. *Journal of Hydrometeorology*, 9(5), 936-950.

Van der Werf, G., Randerson, J. T., Collatz, G.J., Giglio, L., Kasibhatla, P. S., Arellano, A. F., Olsen, S. C., Kasischke, E. S., 2004. Continental scale partitioning of fire emissions during the 1997 to 2001 El Niño/La Niña period. *Science*, vol 303, p.73-76.

Wright, R., Flynn, L., Garbeil, H., Harris, A. J. L., Pilger, E., 2004. MODVOLC: near real time thermal monitoring of global volcanism. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 135, p.24-29.